

**UNIVERSIDAD DEL NORTE**

Departamento de Ingeniería Industrial

Maestría en Ingeniería Administrativa

**DISEÑO DE UN PLAN DE REDUCCIÓN DE CANTIDAD DE PIEZAS DEFECTUOSAS  
GENERADAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CUPLAS EN TENARIS  
TUBOCARIBE USANDO HERRAMIENTAS DE SEIS SIGMA.**

Preparado por

Ing. Juan Sebastián Orozco Mercado

Ing. Alex Omar Visbal Chogó

Director

Ing. Katherine Palacio Salgar

Co-Director

Ing. Luceny Guzmán Acuña



Barranquilla, Colombia  
2018

## **DECLARACION DE AUTORIA**

“El informe del proyecto que figura en este documento no ha sido presentado previamente para optar por un título o diploma en esta o en cualquier otra institución de educación superior. Es resultado del conocimiento y creencia de los autores y no contiene ningún material publicado o escrito por otra persona excepto donde previamente se hace la debida referencia”.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
CAPITULO I.....	11
1.1 Antecedentes .....	11
1.1.1. <i>Historia</i> .....	11
1.1.2. <i>Contexto económico</i> .....	12
1.1.3. <i>Mercado</i> .....	13
1.2. Planteamiento del problema .....	15
1.2.1. <i>Fábrica de cuplas</i> .....	15
1.3. Justificación .....	18
1.4. Objetivos y resultados esperados .....	20
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	20
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	20
1.4.3. <i>Resultados esperados</i> .....	20
1.5. Metodología.....	21
1.6. Alcances y limitaciones .....	22
CAPITULO II .....	23
2.1. Marco de referencia .....	23
2.1.1. <i>Marco conceptual</i> .....	23
2.1.2. <i>Marco Teórico</i> .....	25
2.1.2.1. Método Seis Sigma (6σ).....	27
2.1.2.2. Método Kaizen.....	32
2.1.2.3. Costeo ABC.....	36
2.1.2.4. Contabilidad Throughput .....	39
2.1.2.5. Costeo por objetivos.....	43

2.1.3 Marco Legal .....	46
2.1.4. Marco Espacial.....	46
2.2. Conclusiones de referencias.....	47
CAPITULO III.....	48
3.1. Aplicación de la metodología DMAIC .....	48
3.1.1. Definir .....	48
3.1.1.1. Identificación del problema .....	48
3.1.1.2. Mapa de proceso de roscado.....	51
3.1.1.3. Diagrama SIPOC .....	53
3.1.2. Medir .....	56
3.1.2.1. Catálogo de defectos e imperfecciones en cuplas:.....	56
3.1.2.2. Recolección de datos.....	64
3.1.2.3. Variables críticas.....	65
3.1.2.4. Nivel Sigma .....	69
3.1.3. Analizar .....	75
3.1.3.1. Análisis de Varianza ANOVA multifactorial.....	76
3.1.3.2. Análisis de varianza ANOVA simple por Maquinas .....	77
3.1.3.3. Análisis 5 ¿Porque?.....	80
3.1.3.4. Análisis de causa y efecto .....	83
3.1.3.4. Matriz de evaluación de causa y efecto.....	86
3.1.3.5. Análisis de valor agregado .....	87
3.1.3.6. Resumen Analizar .....	89
3.1.4. Mejorar .....	90
3.1.4.1. Plan de mejora .....	90
3.1.5. Controlar .....	96
CAPITULO IV .....	100
4.1 Plan de implementación.....	100
CAPITULO V .....	108
Conclusiones .....	108
a. Recomendaciones.....	109

<b>REFERENCIAS</b> .....	110
<b>ANEXOS</b> .....	112
ANEXO 1: Análisis 5 ¿Por qué? De los grupos 1 y 2 de máquinas.....	112
ANEXO 2: Análisis 5 ¿Por qué? Del grupo 3 de máquinas .....	115
ANEXO 3: Análisis 5 ¿Por qué? Del grupo 4 de maquinas .....	120
ANEXO 4: Identificación de causas de generación de defectos para el grupo de máquinas 1, 2 y 4 .....	124
ANEXO 5: Identificación de causas de generación de defectos para el grupo 3 de maquinas	127
ANEXO 6: Matriz de evaluación de causas y efectos.....	129
ANEXO 7: Listado de operarios que más generaron rechazo en los productos API. ....	131
ANEXO 8: Listado de operarios que más generaron rechazo en los productos PREMIUM. .	133

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Evolución del precio del petróleo. ....	13
<b>Figura 2.</b> Demanda Vs Producción real mensual.....	16
<b>Figura 3.</b> Desvío de costos de consumibles mensual.....	16
<b>Figura 4.</b> Evolutivo de carga en mil FACU (CTT).....	17
<b>Figura 5.</b> Comparación de precios de cupla de varias plantas Tenaris .....	19
<b>Figura 6.</b> Pasos de metodología DMAIC .....	29
<b>Figura 7.</b> Gráfica de comportamiento Normal del valor de Sigma.....	30
<b>Figura 8.</b> Costeo tradicional vs Costeo ABC .....	37
<b>Figura 9.</b> Instructivo para identificación de restricciones del sistema. ....	40
<b>Figura 10.</b> Esquema tradicional de costos vs Costeo por objetivos .....	44
<b>Figura 11.</b> Diagrama de proceso de fabricación de cuplas.....	50
<b>Figura 12.</b> Diagrama del proceso de roscado .....	53
<b>Figura 13.</b> Diagrama SIPOC para el proceso de roscado de FACU en Tenaris TuboCaribe.....	55
<b>Figura 14.</b> Cupla con Hombro rayado perceptible.....	56
<b>Figura 15.</b> Cupla con Escalon.....	57
<b>Figura 16.</b> Cupla con Vibración.....	57
<b>Figura 17.</b> Cupla con Vibración tipo moneda.....	58
<b>Figura 18.</b> Cupla con Rosca incompleta.....	58
<b>Figura 19.</b> Cupla con Inicio de rosca en el refrentado o cara portante .....	58
<b>Figura 20.</b> Cupla con Daños por manejo .....	59
<b>Figura 21.</b> Cupla con viruta .....	59
<b>Figura 22.</b> Cupla fuera de altura .....	60
<b>Figura 23.</b> Cupla con imperfección por daños.....	60
<b>Figura 24.</b> Cupla con Marca de herramienta .....	61
<b>Figura 25.</b> Cupla con Rebaba .....	61
<b>Figura 26.</b> Cupla con filo.....	61
<b>Figura 27.</b> Cupla con Interrupción en el inicio de la rosca.....	62
<b>Figura 28.</b> Cupla Desgarrada o rasgada .....	62
<b>Figura 29.</b> Cupla Roller con marker superpuesto y/o no completo .....	63
<b>Figura 30.</b> Cupla con Lámina en área J.....	63
<b>Figura 31.</b> Cupla con Escalón en bisel/OD .....	63
<b>Figura 32.</b> Cupla sin bisel externo/interno .....	64
<b>Figura 33.</b> Pareto de número de piezas defectuosas por máquina .....	65
<b>Figura 34.</b> Pareto de número de piezas defectuosas por tipo de defecto.....	66
<b>Figura 35.</b> Pareto de número de piezas defectuosas por tipo de producto .....	66

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Rangos para el análisis de sigma. ....	30
<b>Tabla 2.</b> Ventajas y desventajas del método Seis Sigma. ....	32
<b>Tabla 3.</b> Ventajas y desventajas del método Kaizen. ....	35
<b>Tabla 4.</b> Ventajas y desventajas del costeo ABC. ....	38
<b>Tabla 5.</b> Ventajas y desventajas del método Contabilidad Throughput. ....	43
<b>Tabla 6.</b> Ventajas y desventajas del método Costeo por objetivos. ....	45
<b>Tabla 7.</b> Tabla de descartes por cada proceso de FACU. ....	51
<b>Tabla 8.</b> Pareto de piezas rechazadas por máquina. ....	67
<b>Tabla 9.</b> Pareto de piezas rechazadas por tipo de defecto. ....	68
<b>Tabla 10.</b> Pareto de piezas rechazadas por tipo de producto. ....	68
<b>Tabla 11.</b> Pareto de rechazos por máquinas que procesaron roscas API. ....	70
<b>Tabla 12.</b> Pareto de rechazos por máquinas que procesaron roscas PREMIUM. ....	71
<b>Tabla 13.</b> Defectos más presentados en las máquinas más críticas que procesaron productos API .....	72
<b>Tabla 14.</b> Defectos más presentados en las máquinas más críticas que procesaron productos PREMIUM. ....	73
<b>Tabla 15.</b> Comparativo sigma real del proceso vs sigma exigido por la empresa. ....	75
<b>Tabla 16.</b> Análisis de Varianza para Cantidad .....	76
<b>Tabla 17.</b> Resumen Estadístico para Cantidad. ....	78
<b>Tabla 18.</b> Tabla ANOVA para Cantidad por Maquinas. ....	78
<b>Tabla 19.</b> Pruebas de Múltiple Rangos para Cantidad por Maquinas .....	79
<b>Tabla 20.</b> Tabla de grupos de máquinas conformados para realizar análisis de causa raíz, de acuerdo a análisis de varianzas realizado. ....	80
<b>Tabla 21.</b> Tipos de defectos por código que más se presentan en los grupos de máquina. ....	81
<b>Tabla 22.</b> Análisis de valor añadido de actividades operativas y administrativas del proceso. ...	88
<b>Tabla 23.</b> Plan de mejora propuesto. ....	92
<b>Tabla 24.</b> Plan de control propuesto para la mejora del proceso. ....	98
<b>Tabla 25.</b> Plan de implementación del proyecto .....	101

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal el diseñar un plan de reducción de cantidad de piezas defectuosas generadas en el proceso de fabricación de cuplas en Tenaris Tubocaribe. Dicho plan se ejecutará mediante el uso de herramientas de la filosofía seis sigma.

En la actualidad, la compañía Tenaris Tubocaribe presenta problemas de desviación de costos debido a pérdidas o desperdicios de materia prima, en su mayoría ocasionadas por la generación de cuplas con defectos o imperfecciones, por lo que estas herramientas ayudaron a encontrar las causas raíces de este inconveniente, para así proponer actividades que mitiguen la dificultad ya mencionada. Mediante la implementación de dichas actividades, se espera a futuro que la compañía pueda mejorar su productividad, generando menores costos por pérdidas de materia prima o reprocesos, haciendo que sea más competitiva.

La metodología propuesta en este proyecto es el DMAIC, la cual se usará como herramienta soporte para la propuesta de mejora del problema. Al tomar esta herramienta como guía, se pudo definir y delimitar el problema, para luego medirlo mediante la recolección y análisis de datos, con el fin de identificar las actividades a mejorar en el proceso de producción. Finalmente, se propusieron también actividades para controlar la ejecución de las mejoras y que estas perduren en el tiempo, una vez sean implementadas.

**Palabras claves:** Seis sigma, DMAIC, cuplas, plan, reducción, defectos, costos, herramientas.



## **ABSTRACT**

The main objective of this project is to design a plan to reduce the quantity of defective parts generated in the production process of couplings in Tenaris Tubocaribe. This plan will be executed using tools and techniques used under the six sigma philosophy.

Currently, the company Tenaris Tubocaribe has high production costs mainly due to losses or waste of the raw material during the manufacturing process. The tools used in this project, help to analyze the root cause of the problem and to propose activities that mitigate the aforementioned difficulty. By implementing the proposed activities, we expect that in the future the company can improve its productivity, lower its production costs for raw material losses and reworks, and be more competitive.

The methodology proposed in this project is the DMAIC, which is used as a support tool to propose a solution to the problem. By using the DMAIC, the problem is defined and delimited, and then measured by collecting and analyzing data, in order to identify strategies of improvement that can be applied to the production process. Finally, the project proposes activities to control the execution of the improvements that can be sustainable once they are implemented.

**Keywords:** Six sigma, DMAIC, Cupla, plan, reduction, defects, costs, tools.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas han visto como los crecimientos de economías emergentes como China e India, han afectado el mercado internacional, debido a que ofrecen productos con calidad aceptable y bajo costo. Uno de los mercados más afectados ha sido el sector metalmecánico, pues dichas economías emergentes, en especial la China, maneja la mayor parte de la producción de acero del mundo. Esta situación se agrava en la industria productora de tubería para transporte de hidrocarburo, debido a que tiene el efecto combinado de los bajos precios que ha tenido el petróleo los últimos años. Este es el caso de la empresa Tenaris, la cual pasó de liderar el mercado, a tener que conformarse con un segundo lugar, por lo que se ha visto obligado a considerar estrategias para diferenciarse de la competencia y mejorar sus utilidades, pero hasta el momento estas no han sido efectivas.

Tenaris TuboCaribe, se ha comenzado a preocupar por optimizar sus procesos productivos, con el fin de disminuir los costos de transformación de sus productos y poder generar un mayor margen de contribución en el negocio. Uno de los mayores generadores de sobre costos en la operación es la cantidad de productos defectuosos que se generan en el proceso de producción de cuplas, por lo que la reducción de estos errores permitirían que haya una mayor estabilidad en los costos y al mismo tiempo generar otros factores positivos como la fabricación de productos con mejor calidad, y precios más bajos, lo que, a la larga, se traduce en una mejora en la reputación de la compañía y un incremento en las ventas, por ende una mejora en las utilidades.

La necesidad de controlar la generación de productos defectuosos en las compañías, ha dado origen a múltiples estudios, entre estos están metodologías como el seis sigma, que busca prevenir los productos asociados a la baja calidad y con ello se evita tener re-procesos, logrando así productos y servicios eficientes.

El objetivo de la metodología seis sigmas es llegar a un máximo de 3.4 defectos por millón, entendiéndose como defecto cualquier evento en que un producto o servicio que no logra cumplir los requisitos del cliente. Con ésta metodología, que encaja perfectamente en el caso tratado, se describe el *diseño de un plan de reducción de cantidad de piezas defectuosas generadas en el proceso de fabricación de cuplas en Tenaris TuboCaribe usando herramientas de seis sigma.*

## **CAPITULO I**

### **1.1 Antecedentes**

#### ***1.1.1. Historia***

Tenaris Tubocaribe Ltda. Es una empresa colombiana, que pertenece al grupo productor de tubos de acero con sede en Luxemburgo Tenaris S.A., el cual también es parte del grupo ítalo-argentino Techint. TuboCaribe fue creada en 1987, es un centro de fabricación de tubos de acero localizado en la ciudad de Cartagena y posee una capacidad anual de producción de 250.000 toneladas de productos de acero. Tenaris TuboCaribe ofrece soluciones de servicio integral y productos como revestimiento, tuberías y tubos de conducción para el sector energético, así como también tubos estructurales para otras industrias. Además de sus oficinas centrales en Cartagena, la empresa cuenta con centros de servicio en Barrancabermeja y Villavicencio.

El centro productivo TuboCaribe surgió como un productor local de tubería para extracción y transporte de hidrocarburos, en 2006 fue adquirido por la multinacional Tenaris y se dedicaba a la producción de tubería de acero con costura, revestimiento y pintura de tuberías y producción de tubería tipo conduit (manejo de cableado eléctrico), la compra se dio debido a que Colombia es un país atractivo para el grupo Tenaris debido a que los costos de la mano de obra son relativamente bajos, existe un gran apoyo por parte del gobierno nacional a los proyectos de inversión extranjera, hay bajos costos para la obtención de materias primas y geográficamente está bien ubicado para abastecer los mercados de Norte y Sur américa, además, varios centros productivos de la multinacional ubicados en Venezuela fueron expropiados por el gobierno local, por lo que básicamente la operación se mudó a Colombia.

Además de esto, se realizó una fuerte inversión en la planta de Cartagena, en 2015 se inauguró una planta para producción de tubería de acero sin costura, y a finales de 2016 se inauguró la primera planta de cuplas (uniones roscadas de acero para tubería petrolera), esta unidad cuenta con una capacidad para producir 2 millones de piezas de productos de alta especificación o también llamados productos propietarios (Premium) y API (estándar) al año, en

una producción que cubre la demanda local y exporta a Estados Unidos, Canadá, México y Argentina.

La planta de cuplas cuenta con 9 sierras de corte de tubo semielaborado, 54 tornos de roscado, 6 estaciones de inspección (llamadas SEA), 2 estaciones de fosfatizado y 3 líneas de pintado y empacado, su apertura significó la contratación de 300 trabajadores calificados, de los cuales un alto porcentaje son mujeres (se estima que un 35% de la población total de la empresa son mujeres, de las cuales más de 80 trabajan en planta), la gran mayoría de los nuevos empleados fueron contratados mediante el programa del gobierno nacional “Mi primer empleo”, es decir que son trabajadores jóvenes y con poca experiencia.

### ***1.1.2. Contexto económico***

El período 2015 – 2016 fue muy negativo para la industria energética colombiana debido a la caída del precio del petróleo, el cual se desplomó por debajo de 28 dólares por primera vez desde 2003, esto ocasionó una crisis en todas las empresas relacionadas al sector, Tenaris no fue la excepción, la crisis ocasionó una baja en la carga de producción de la planta, la cual cayó en un 20%, y la necesidad de implantar una política general de austeridad, la cual comprendía, la congelación de ascensos del personal, suspensión de algunos bonos económicos que recibían los trabajadores, aplicación de controles estrictos en los procesos de compras, entre otros, esto generó un gran temor y sensación de incertidumbre en el personal.

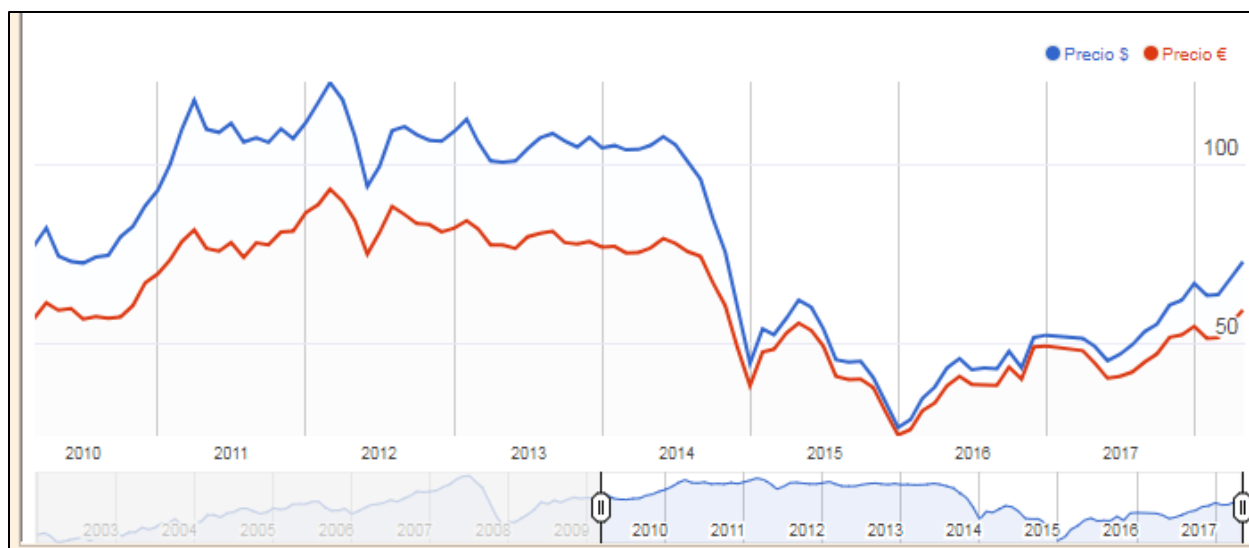


Figura 1 Evolución del precio del petróleo. Tomado de: <https://www.datosmacro.com/materias-primas/opec>. Recuperado: 14 mayo de 2018

Actualmente con la recuperación del precio del barril que se presentó a finales del 2017, cuando el barril alcanzó los 50 USD, el panorama se veía muy favorable para Tenaris, pero a comienzos del 2018 el precio del petróleo se estancó y las proyecciones realizadas, resultaron ser más optimistas de lo que en realidad sucedió, como consecuencia de esto se dice que Tenaris TuboCaribe actualmente está en un período de recesión, en el cual se está buscando normalizar sus operaciones y recuperar las condiciones laborales que tenían sus trabajadores.

### **1.1.3. Mercado**

Tenaris a nivel mundial era el productor líder de tubería y acoples para la industria energética mundial, sus productos se caracterizan por ser de excelente calidad, además que constantemente está realizando nuevos desarrollos que se ajustan a las necesidades de sus clientes. A nivel nacional, el mercado colombiano era dominado también por TuboCaribe, los competidores son muy pocos, pero este panorama cambió con el desarrollo industrial que ha presentado China durante la última década.

Para el año 2015, las importaciones chinas de tubería de acero para la industria de petróleo y gas, alcanzaron el 39% del mercado colombiano, actualmente los chinos son los líderes a nivel mundial y tienen el 50% de la producción de acero, esto debido a que los productos chinos manejan unos precios de venta mucho más económicos que los producidos por Tenaris. La causa de los precios tan bajos que manejan los productores chinos, se debe entre

otros factores, a la alta disponibilidad de mano de obra calificada a bajo costo, debido a un alto intervencionismo estatal en la industria y en la sociedad en general, además por la facilidad para obtener sus materias primas a bajo costo, debido a que manejan la mitad de la producción mundial de acero. Estas condiciones hacen que el mercado internacional sea muy competitivo y no es muy favorable para Tenaris.

A nivel local, debido a la creación de leyes antidumping en Colombia, Tenaris TuboCaribe se ha visto favorecido, pues estas protegen a la industria nacional y controlan las importaciones de productos extranjeros, pero durante la crisis vivida en el período 2015 - 2016 y con la fuerte competencia con los productos chinos, fue necesario bajar los precios de los productos para poder competir.

Bajo este panorama con una recuperación del precio del petróleo, la carga de producción de TuboCaribe se incrementa nuevamente y es necesario retornar a las condiciones que tenía la empresa antes de la crisis, esto es reinstaurar los bonos para los trabajadores, llevar a cabo los ascensos y promociones que estaban pendientes, además de llevar a cabo proyectos que habían quedado suspendidos, esto conlleva a un incremento en los costos fijos de operación y no es posible incrementar nuevamente los precios de los productos, pues esto no haría competitiva a la planta, es allí donde se hace necesario ser eficiente en los procesos y cuidar al máximo los costos, con el objetivo de incrementar el margen de contribución del negocio y poder hacer frente a los compromisos pendientes.

Una de las estrategias planteada por Tenaris para lograr su objetivo es mediante el control de los costos de los consumibles de proceso, esto debido a que se estima que el 60% de los costos de transformación de los productos de Tenaris, son costos asociados a insumos y consumibles de proceso, como estrategia de control, se formulan una serie de presupuestos por planta, de modo que se puedan cumplir los precios de los productos acordados con los clientes, de este modo, existe un presupuesto anual para planta de tubería, otro para fábrica de cuplas y así para cada línea de producción, el cual se plantea en función de la carga de producción programada para cada mes.

## 1.2. Planteamiento del problema

### 1.2.1. Fábrica de cuplas

Como se mencionó en los antecedentes, la Fábrica de cuplas (FACU) es una planta en proceso de arranque, la cual inició operaciones el año 2016, en plena crisis de Tenaris. La demanda de la planta, expresada a través de la carga de planta programada mensualmente, tiene una tendencia a subir y como se puede observar en la **figura 2**, la producción real no alcanza a cumplir dicha demanda, por otro lado, FACU es la planta que tiene el presupuesto más grande en TuboCaribe, y es la más desviada en costos, en lo que va comprendido del año fiscal (Julio 2017 a Junio 2018), se registra un desvío acumulado de 469.000 USD con corte a Diciembre del 2017, el evolutivo del desvío mensual se aprecia en la **figura 3**, en ella se aprecian las barras que representan los costos reales de fabricación, los cuales se comparan con la línea que representa el presupuesto autorizado de cada mes, se observa que el mayor gap se presentó en los meses de Agosto y Diciembre, pero se evidencia que en ningún mes se ha logrado generar ahorros en el proceso. El principal costo de FACU está relacionado con las pérdidas o desperdicios de materia prima, donde la principal es el acero, esto se expresa mediante la carga en mil (CTT) la cual indica la cantidad de acero equivalente de producto terminado que sale de proceso por cada tonelada de acero en materia prima que ingresa al proceso, es decir un CTT de 20% indica que por cada tonelada de acero que ingresa como materia prima al proceso, el 20% sale como producto terminado, se estima que debido a que el proceso de maquinado es un proceso de remoción de material y teniendo en cuenta un porcentaje de descarte de piezas por generación de piezas defectuosas, el CTT debe ser del orden de 50%, en la **figura 4**, se observan datos históricos del CTT de FACU.

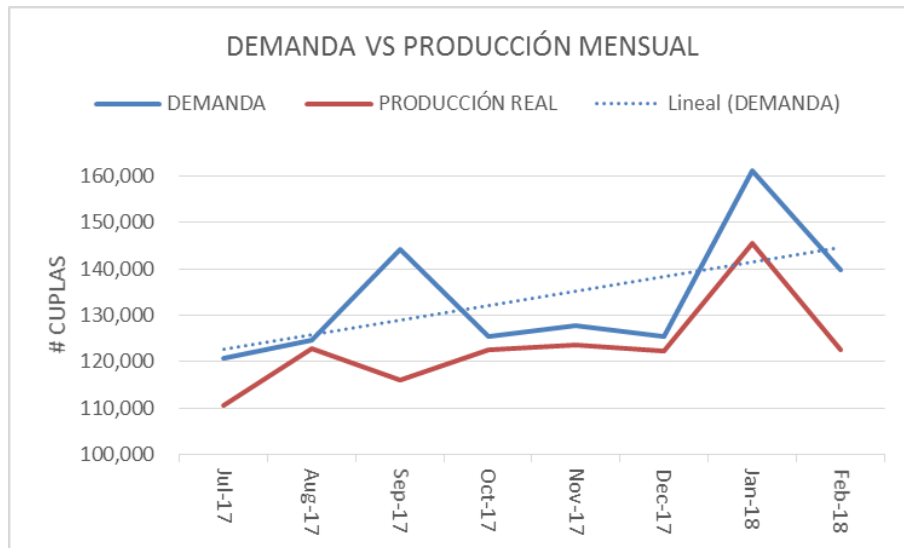


Figura 2 Demanda Vs Producción real mensual

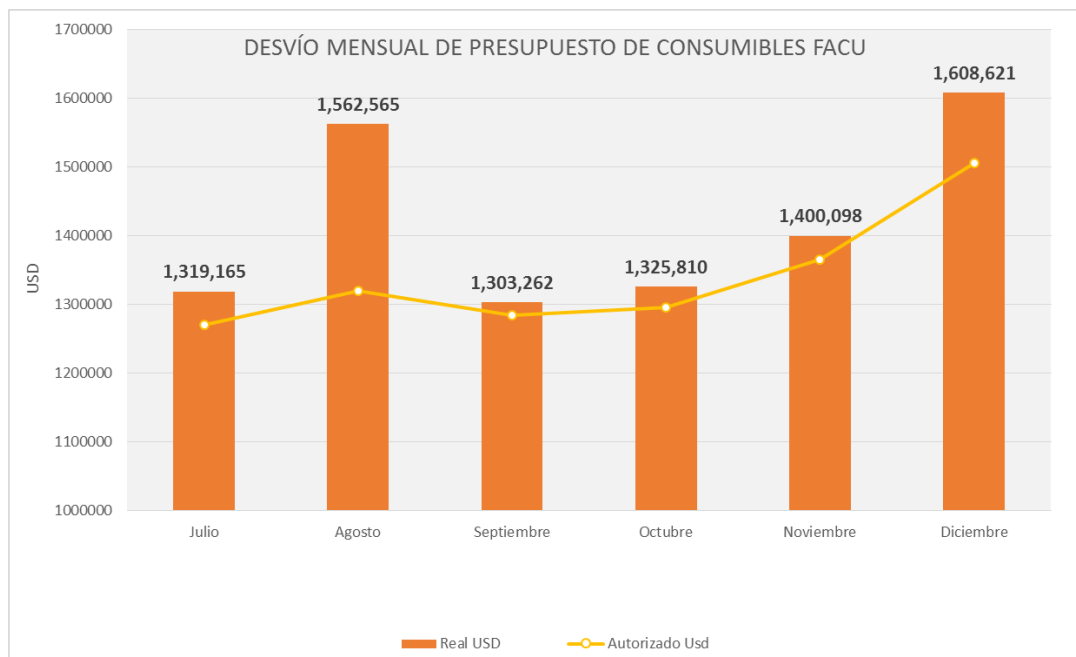
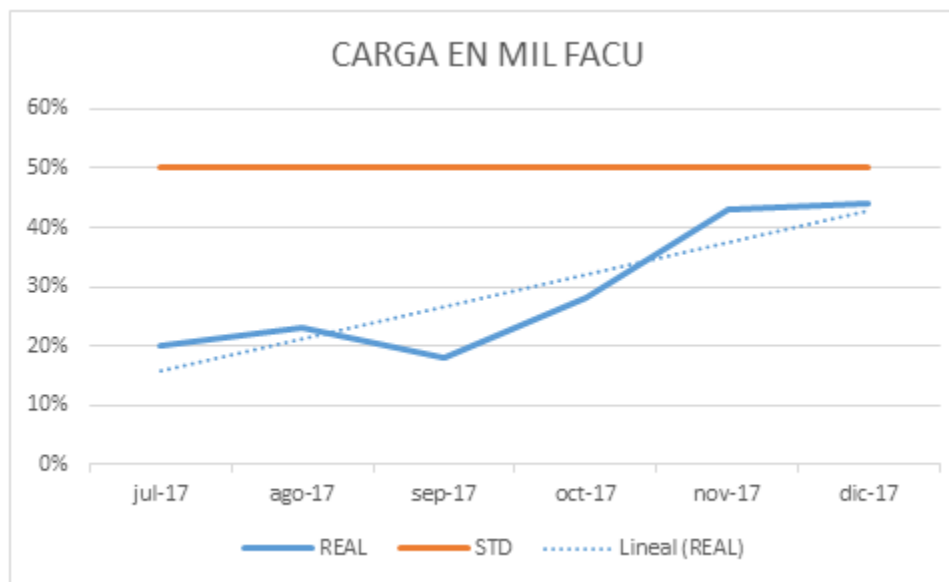


Figura 3 Desvío de costos mensual FACU





*Figura 4 Evolutivo de carga en mil FACU (CTT). Indica la cantidad de acero equivalente en producto terminado, por cada tonelada de acero ingresada como materia prima*

Bajo este panorama y de acuerdo al contexto económico que vive la compañía, se hace de vital importancia controlar los desperdicios de materia prima y los sobrecostos asociados a reprocesos de piezas defectuosas, con el fin de incrementar la calidad del producto de FACU, pues garantizar un producto de mayor calidad, se constituye en un factor diferenciador frente a la competencia, lo cual puede incrementar las ventas y por ende la rentabilidad del negocio.

Como se mencionó, las pérdidas de materia prima son la principal fuente de desvío de costos en la planta, dichas pérdidas son causadas por las siguientes razones:

1. Remoción de material por proceso de maquinado.
2. Descartes de piezas por no conformidades de calidad.

La primera razón, es propia de proceso y se debe convivir con ella, pero la segunda es controlable y algunas de sus posibles causas son:

- Falta de experiencia por parte del personal operativo. Para la mayoría es su primer empleo.
- Falta de cultura de calidad. La supervisión se concentra en su función más básica: Producir la mayor cantidad de pieza sin controlar la generación de defectos.
- Los procedimientos están en construcción y se cometen muchos errores.

- La maquinaria no es nueva, ni de última tecnología, por lo que hay muchos problemas mecánicos que afectan la calidad del producto

Teniendo en cuenta que la principal desviación de costos está asociada a las pérdidas de materia prima y que las causas están asociadas a descarte de piezas por no calidad, surge este proyecto, el cual busca diseñar un plan de reducción de cantidad de piezas defectuosas generadas en el proceso de fabricación de cuplas en Tenaris TuboCaribe usando herramientas de seis sigma, con el fin de reducir sobre costos por descarte de piezas y por reprocesos.

### 1.3. Justificación

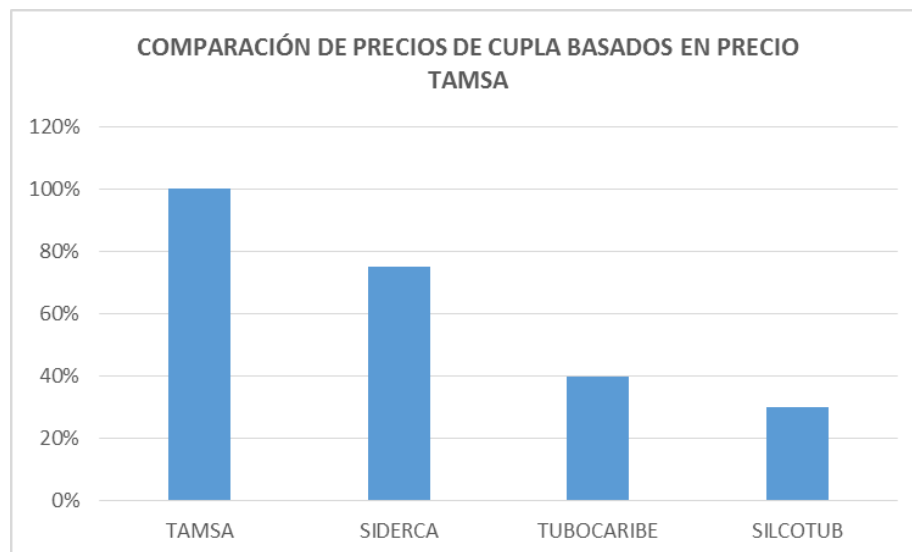
Tenaris TuboCaribe es una planta que contribuye al desarrollo de la industria energética colombiana, su presencia en la ciudad de Cartagena y sobretodo en la cercanía al barrio Nelson Mandela, ha ayudado al desarrollo de la región, generando empleo, mejorando además la infraestructura vial y la seguridad de las casas vecinas.

La planta FACU, es la más nueva de todas las plantas Tenaris a nivel mundial y actualmente es la que genera la mayor parte de las ganancias de TuboCaribe, comparativamente con el resto de fábricas de cuplas del circuito Tenaris, es la que produce la segunda cupla más económica después de Silcotub en Rumania, como se observa en la **figura 5**, lo que brinda un mayor margen de contribución al negocio global y hace que la planta de Cartagena sea atractiva; sin embargo, el aumento del desperdicio de materia prima genera que esta planta pierda su “atractivo”, ya que el exceso de desperdicio implica un aumento en los costos de fabricación y por ende los precios de venta, además un producto con baja calidad genera desconfianza en el cliente por lo que la planta sería menos productiva y competitiva en comparación con las planta de Tamsa (ubicada en México) y Siderca (ubicada en Argentina), las cuales llevan mucho más tiempo en el negocio.

Hasta el momento, las decisiones tomadas para controlar la cantidad de piezas defectuosas no han demostrado ser muy eficaces, es allí donde surge la importancia de este proyecto, pues no existe una estrategia que prevenga la mayor causa del desperdicio de materia prima que presenta

la operación en la actualidad. Tal como se mencionó en el planteamiento del problema, la cantidad de piezas defectuosas generadas está asociada a la pérdida de materia prima por el descarte de piezas por no calidad. La estrategia diseñada en este proyecto, busca brindarle a la gerencia los siguientes beneficios potenciales:

- ✓ Generar un plan de mejoramiento de la operación, para reducir reprocesos y descartes de piezas defectuosas.
- ✓ Usar una herramienta de mejora que busca incrementar la calidad del producto y con esto mejorar la satisfacción del cliente final.



*Figura 5 Comparación de precios de cupla de varias plantas Tenaris, tomando como base el precio de la planta TAMSA en México*

## **1.4. Objetivos y resultados esperados**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Diseñar un plan de reducción de cantidad de piezas defectuosas generadas en el proceso de fabricación de cuplas en Tenaris TuboCaribe usando herramientas de seis sigma.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Definir los procesos que intervienen en la fabricación de cuplas, analizando las interacciones, actividades y personas que intervienen en los procesos.
- Medir el desempeño actual de los procesos, identificando los puntos críticos y causas raíces de los problemas asociados a generación de defectos en la producción de cuplas.
- Analizar las causas raíces de la generación de defectos en el proceso de fabricación de cuplas y formular acciones de mejora.
- Identificar áreas de mejora y actividades a implementar con secuencias definidas para disminuir la generación de piezas defectuosas en la fabricación de cuplas.
- Controlar el plan de implementación a ejecutar para disminuir la cantidad de piezas rechazadas en el proceso de fabricación de cuplas.

### ***1.4.3. Resultados esperados***

Los resultados esperados de este proyecto son:

- Un diagnóstico de las causas raíces de la generación de productos defectuosos en el proceso de fabricación de cuplas.
- Una medición del desempeño actual de la calidad del producto fabricado en la planta.
- Un plan de mejoras para disminuir la cantidad de productos defectuosos generados en la fabricación de cuplas con un despliegue de actividades de control para garantizar la implementación de las actividades planteadas en el plan propuesto y que la mejora se mantenga en el tiempo.

## **1.5. Metodología**

El desarrollo de este proyecto se llevará a cabo mediante la metodología DMAIC. Sin embargo, cabe resaltar que esta técnica solo se usará como herramienta soporte, dado que esta técnica requiere de conocimiento especialista de seis sigma. Por lo anterior, se han definido los siguientes pasos metodológicos:

1. Definir: Definir el alcance del proyecto, delimitando el problema a solucionar y definiendo el proceso mediante un mapa de proceso y una descripción de cada paso, con sus entradas, salidas, clientes y proveedores.
2. Medir: Medir el desempeño actual del proceso en términos de nivel sigma, mediante la recolección de datos y organización de la información, definiendo los defectos que se pueden presentar en el proceso.
3. Analizar: Realizar análisis de los datos evaluando qué factores impactan en mayor medida a la generación de defectos en el proceso, realizar agrupación de los datos similares para facilitar el análisis de la información, hallar causas raíces de la generación de defectos en el proceso de fabricación de cuplas, clasificar por categorías cada causa y evaluar la prioridad o importancia de cada una.
4. Mejorar: Definir acciones de mejora que apunten a solucionar o atacar las causas raíces de la generación de defectos encontradas en la etapa de analizar, estas acciones de mejora se registran en un plan el cual consta con la descripción de la acción, a que no conformidad o defecto apunta, tiempos de ejecución, responsable de la ejecución, un indicador asociado, el resultado esperado y el responsable del seguimiento.
5. Controlar: Definir actividades de seguimiento y control para las acciones planteadas en el plan de mejora, para que se ejecuten y se mantengan en el tiempo. Para cada actividad se define el área responsable, qué se controla, un indicador asociado, los límites de este indicador, el método de medición, frecuencia de medición y el responsable.

### **1.6. Alcances y limitaciones**

El alcance de este proyecto es el diseño de un plan de reducción de cantidad de piezas defectuosas generadas en el proceso de fabricación de cuplas en Tenaris TuboCaribe, usando herramientas de seis sigma.

El proyecto a su vez, tiene las siguientes limitaciones:

- Los datos provistos no están teniendo en cuenta si en alguna parte del proceso hubo alguna parada en la planta por daño o mantenimiento a la máquina.
- Se asume que los datos provistos por la empresa poseen una distribución normal.

## CAPITULO II

### 2.1. Marco de referencia

En esta sección se revisará la literatura con respecto a las estrategias de minimización de costos en las empresas manufactureras, lo que es relevante para el problema expuesto anteriormente. La razón principal de esta parte del trabajo es conocer teóricamente de que trata la problemática y observar mediante el sondeo y exploración de investigaciones como diferentes autores la han resuelto.

En el marco de referencia del presente trabajo, se definen los temas sobre los cuáles está basado el estudio. En el marco conceptual se presentarán términos y conceptos claves que servirán de base para abordar los temas del contenido. Para el caso del marco teórico, se presentarán diversas metodologías de mejora de procesos en términos de calidad, costos y productividad, con el fin de que la maximización de utilidades sea un hecho. En principio, describirá los modelos de forma teórica. Luego, sus características principales y sus ventajas. Finalmente, se realizará un análisis de la aplicación de estos en las compañías manufacturera para la resolución de problemas.

#### *2.1.1. Marco conceptual*

- *Acotar*: Cercar o delimitar de forma visible un terreno para indicar que está reservado para uso y aprovechamiento particular.
- *Cadena de valor*: Es un modelo teórico que permite describir el desarrollo de las actividades de una organización empresarial generando valor al producto final, descrito y popularizado por Michael Porter.
- *Capacho*: Huacal de la maquina donde se colocan las cuplas

- *Cupla/Acople*: Es la pieza que se utiliza para lograr la unión de dos tubos por su parte exterior. Estas, permiten conectar los tubos de manera externa, haciendo que el fluido o el gas circule dentro de ellos sin filtraciones ni escapes.
- *Desbastar*: Quitar las asperezas o partes más bastas de un material destinado a ser labrado.
- *Embalaje*: Envoltura con que se protege un objeto que se va a transportar.
- *Encoder*: Es un dispositivo de detección que proporciona una respuesta en el torno.
- *FACU*: Fabrica de cuplas.
- *Fosfatizado*: El proceso mediante el cual algunos productos químicos reaccionan con el metal base para ofrecer una barrera química contra la corrosión y como beneficio secundario aumentan la adherencia de la pintura.
- *Revestimiento*: El concepto se utiliza para nombrar a la cubierta o capa que permite decorar o proteger una superficie.
- *Tubo estructural*: Tubo hueco de acero estructural cuya sección transversal puede ser cuadrada, rectangular o circular.



### ***2.1.2. Marco Teórico***

El entorno en que se desarrollan las empresas del sector productivo se caracteriza por requerir de mejora continua en sus procesos y de poseer la flexibilidad necesaria para poder adaptarse a los cambios. Debido a esto, se hace obligatorio que las compañías de este sector estén preparadas para contender en los mercados competitivos, teniendo los recursos financieros necesarios.

La contabilidad de costos en una empresa manufacturera juega un papel fundamental, ya que mediante la mejora de procesos es posible la consecución de información sobre los costos y los gastos que se hacen dentro de la organización además de monitorear el comportamiento del capital de la empresa. Con este proceso es posible implementar un sistema de control enfocado en recoger, registrar y reportar la información relacionada con los costos de producción.

El papel que tienen los costos para un sistema de información en las empresas es muy determinante, ya que estos proporcionan de información útil al personal y se usan como medida primordial de la utilización de los recursos materiales y financieros en el proceso productivo, lo que permite aseverar una planificación ideal. Es imprescindible en cualquier método de dirección asegurar el papel del costo en la planificación económica y principalmente en la correcta dirección de las compañías, mediante componentes óptimos, que permitan su cálculo con un grado elevado de confiabilidad (Echeverría, 2008).

La gestión de costos requiere que haya un manejo adecuado del costo de las diferentes actividades de la empresa, para las cuales se debe programar los recursos con los que se disponga y tasar la rentabilidad de estos; estimando su costo, disponiendo el presupuesto y controlando las variaciones en los desembolsos del mismo. La gestión de costos es importante para la compañía, ya que permite mejorar la progresiva la necesidad de competitividad y es fundamental para la toma de decisiones.

La contabilidad de costos hace parte del sistema de información gerencial de la compañía y desempeña un rol notable en su accionar en la toma de decisiones. “Es un sistema de información que clasifica, acumula, controla y asigna los costos para determinar los costos de

actividades, procesos y productos, y con ello facilitar la toma de decisiones, la planeación y el control administrativo”. (Ramirez Padilla, 2008)

Ya que la competencia en el mercado es muy acelerada, el comercio internacional se encuentra afectado por la mano de obra de bajo costo comparada con la del mercado mundial, el desarrollo tecnológico de las organizaciones concibe una creciente inseguridad y es difícil pronosticar que puede suceder con la innovación. Por esto, se ha desarrollado una revolución en los sistemas de producción y control. Las empresas pretenden promover un liderazgo basado en costos, para lograr competir y brindar las respuestas claves en el momento adecuado; para esto, se debe integrar en el sistema de administración de costos nuevas técnicas de gestión y control que fomenten el trabajo en grupo, la eficiencia y la calidad para satisfacer las expectativas de los clientes, y a su vez que cumplan con la capacidad de adaptarse a los cambios tecnológicos.

Debido a la alta competitividad y la globalización de las compañías, se hace necesario reducir los gastos de forma contundente, siendo el despido de los empleados la primera medida a la que recurren los empresarios, pero esta no tiene porqué ser la mejor solución. Hay dos elementos sobre los que se puede trabajar: aumentar los ingresos y disminuir los gastos. Al hablar de reducir los gastos, se pueden encontrar varios aspectos de una empresa en los que se pueden economizar y optimizar recursos; para determinar estos aspectos son primordiales herramientas como el análisis y la redefinición de la organización de la producción.

Se debe detectar, prevenir y eliminar el uso excesivo de los recursos durante el proceso de producción para lograr reducir costos en la empresa. A la empresa, esto le permite optimizar recursos para fabricar los mismos productos a un menor costo y buscar nuevos nichos de mercado. Factores que se deben modificar para lograr la reducción de costos son mejorar la calidad, incrementar la productividad, optimizar las líneas de producción, reducir los tiempos muertos de las máquinas, entre otros. Si se alcanza un mayor nivel de calidad del servicio o del producto, se logrará una mayor fidelidad, estabilidad y satisfacción de los clientes, y en consecuencia más ventas y mayores oportunidades de incrementar el precio. Es necesario que se evalúen todos los métodos que permitan que los procesos de fabricación logren incrementar su nivel de calidad, productividad y así conseguir la disminución del desperdicio.

Existen múltiples y diferentes herramientas que pueden utilizarse para la reducción de desperdicios de un producto y los costos asociados a estos, algunos ejemplos de ellos son las:

técnicas específicas de la manufactura esbelta y de la metodología seis sigma como: el diagrama SIPOC, el diagrama de flujo, la matriz QFD, el método DMAIC que incluye las herramientas estadísticas en toda su gama, el diagrama espina de pescado, etc. (Martinez & Garza, 2013)

#### *2.1.2.1. Método Seis Sigma ( $6\sigma$ )*

Actualmente hay varias metodologías que ayudan durante la prevención de errores en procesos industriales. Seis Sigma ( $6\sigma$ ) es uno de ellos, es aplicado a nivel mundial por su calidad, para ofrecer mejores productos o servicios, a menor costo y en menor tiempo. (Lopez, 2001).

Seis Sigma representa una métrica, desarrollada en los años de los 80's en los Estados Unidos de América. La metodología, Seis Sigma representa el control métrico de los procesos otorgando soluciones, control y objetivos alcanzables de acuerdo a las entradas de parámetros primarios y secundarios. (Baldemar & Abrego, 2015).

Es un método basado en datos que busca llevar la calidad lo más cercano a la perfección; se diferencia de otros enfoques porque busca corregir los problemas antes de que se presenten, en ella se examinan de cerca los procesos repetitivos de las compañías.

La metodología  $6\sigma$  se basa en construir una cadena de pasos para la optimización de los procesos y el control de calidad. Se cimienta en la distribución normal, para lograr conocer el nivel de variación de cualquier actividad. A la baja calidad en las empresas se le asocian costos por esto:

- Fallas internas: Reprocesos y problemas en el control de materiales.
- Fallas externas: Reclamos generados en el mercado, lo que genera garantías y penalizaciones.
- Evaluaciones del producto: por inspecciones del proceso y el producto, afectando la utilización de las máquinas. Se hace inevitable realizar mantenimientos y calibración de equipos de medición de los procesos y productos, además las auditorías de calidad y soporte de laboratorios y sus costos.
- Prevención de fallas por mal diseño del producto; pruebas de campo, capacitación a trabajadores y mejora de la calidad.

Aplicando la metodología  $6\sigma$  en los procesos industriales, se previenen los costos asociados a la baja calidad y de esta forma se evitan los reprocesos, alcanzando así productos y servicios eficientes. Al emplear la metodología Seis Sigma en el análisis de procesos industriales se ha demostrado que se pueden identificar rápidamente problemas en la producción como: cuellos de botella, pérdidas de tiempo y productos defectuosos.

Según Gustavo López, en su investigación “Metodología seis sigma: calidad industrial” menciona que una compañía que no utiliza la metodología  $6\sigma$ , gasta en promedio 10% de sus ganancias en reparaciones externas e internas. En cambio, una compañía que aplica la metodología gasta en promedio 1% de sus ganancias en esta misma actividad.

La metodología del Seis-Sigma permite comparar negocios, productos, procesos y servicios similares o distintos. Además, facilita las herramientas para conocer el nivel de calidad de la empresa. Su misión principal es suministrar la información adecuada para crear la confianza y comunicación entre todas las partes que intervienen en el proceso, con el fin de que se logre compartir la experiencia de todas las áreas y lograr una mejora de la calidad de los procesos. (Lopez, 2001)

Es factible afirmar que, este método se define en dos niveles: operacional y gerencial. En el nivel operacional, se utilizan herramientas estadísticas para elaborar la medición de variables de los procesos industriales con el fin de detectar los defectos. El nivel gerencial analiza los procesos utilizados por los empleados, con el fin de mejorar la calidad de los productos, procesos y servicios.

Una de las técnicas se conoce como DMAIC, como se ilustra en la Figura 7. En ella, se muestra la secuencia y las relaciones entre las diferentes fases de esta metodología.



Figura 6 Pasos de metodología DMAIC (Lefcovich, 2005)

1. **Definición:** En esta etapa se busca identificar los posibles proyectos Seis Sigma, que deben ser valorados por la dirección, con el fin de evitar la infrautilización de recursos. Cuando se selecciona el proyecto, se prepara la misión y se escoge un equipo idóneo, para plantear tiempos de ejecución.
2. **Medir:** Su finalidad es caracterizar el proceso, identificando los requisitos clave, las características clave del producto y los parámetros del proceso.
3. **Análisis:** Para esta etapa es necesario que el equipo elegido en la primera etapa analice los datos de resultados actuales e históricos. Lo que se desea es comprobar hipótesis sobre relaciones causa-efecto.
4. **Mejora:** El equipo busca determinar la relación causa-efecto con el fin de predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso.
5. **Control:** Por último, la etapa de control, que consiste en diseñar y documentar los controles necesarios para poder asegurar que lo conseguido por medio del proyecto Seis Sigma se sostenga una vez se hayan implementado los cambios.

La metodología seis sigmas, a su vez, es una herramienta estadística que permite caracterizar los procesos y sus estudios utilizando para esto la desviación típica ( $\sigma$ ) y de esta manera poder observar la variabilidad del proceso con respecto a los límites establecidos por los requisitos del cliente. A continuación, se puede observar en la tabla 1, los rangos establecidos para cada nivel

de desviación, es decir, qué porcentaje de unidades buenas se deben producir para tener el nivel sigma deseado. (Egas, 2017)

Tabla 1 Rangos para el análisis de sigma. Fuente: (Egas, 2017)

SIGMA	%ACEPTACIÓN	%DEFECTOS	DPMO
1	30,9%	69,1%	691.462
2	69,1%	30,9%	398.538
3	93,3%	6,7%	66.807
4	99.38%	0.62%	6.210
5	99.977%	0.023%	233
6	99.99966%	0.00034%	3,4

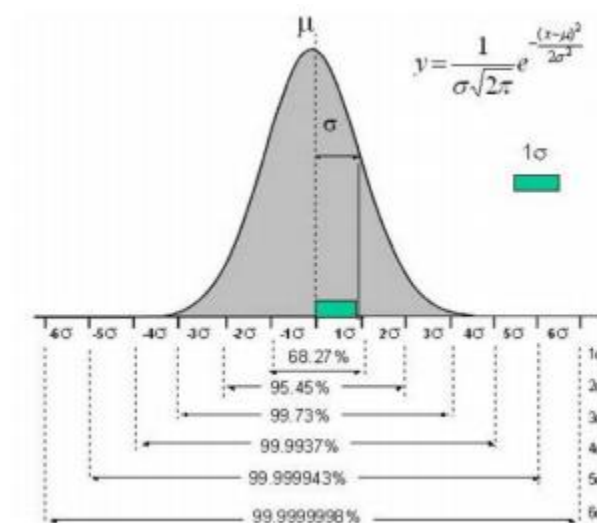


Figura 7 Gráfica de comportamiento Normal del valor de Sigma. Fuente: (Egas, 2017)

Observando gráficamente lo descrito en la tabla 1, se determina que esta grafica se ajusta a una distribución normal, donde la región bajo la campana de Gauss es el porcentaje de unidades no defectuosas para cada nivel de sigma ( $\sigma$ ). Es claro que el nivel de 1 sigma abre la posibilidad a que más cantidad de unidades que no cumplen con los requerimientos puedan tomarse como productos conforme y viceversa con el nivel 6 sigma.

Con respecto a la aplicación de este método, Garza y Abrego afirman que, “con el análisis DMAIC se logró reducir el consumo de pintura en polvo para carcasas metálicas en una primera instancia de 32% sobre pieza traducido a más de \$1, 000,000 de pesos de reducción de gastos anualmente”. En la investigación de estos autores se buscaba la “Reducción y control de costos en empresa de manufactura con Seis Sigma”. En su proyecto, esta metodología les permite localizar las soluciones de causa raíz, en busca de la mejora de la calidad y el control de procesos, concluyendo sobre el control del proceso y la mejora de las operaciones, eliminando los desperdicios y generando ahorros anuales, reduciendo el 40% de utilización de recubrimientos aplicados sobre las carcasas de metal, generando un ahorro mayor a \$1.000.000 anual. (Baldemar & Abrego, 2015).

Por otra parte, Arias, Portilla & Castaño afirman que la implementación de esta metodología va de la mano con el cambio de la cultura de la compañía en busca de la calidad total. “La meta definitiva es crear empresas seis sigma, donde los procesos y sistemas sean tan perfectos como sea posible, funcionando a su mejor nivel de rendimiento. Para obtener ese nivel de calidad, se exige no sólo estadística, sino cambios en la cultura de la organización. El enfoque seis sigma es riguroso, exigiendo un compromiso del liderazgo que impregne la organización por completo”. (Arias, Portilla, & Castaño, 2008).

A continuación, se observa una tabla, donde se pueden apreciar las ventajas y desventajas que tiene esta metodología.

Tabla 2 Ventajas y desventajas del método Seis Sigma. Fuente: Elaboración propia.

<b>MÉTODO: SEIS SIGMA (6σ)</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Búsqueda de la calidad total y la excelencia.</li> <li>- Es el método más usado para alcanzar la mayor calidad posible con el mínimo desperdicio.</li> <li>- Provoca una mejora en la productividad y en la rentabilidad de los productos gracias a la mejora de los procesos.</li> <li>- Nivel de clase mundial al no producir servicios o productos defectuosos.</li> <li>- La metodología presenta variedad de aplicaciones estadísticas, adaptándose a la situación problema.</li> <li>- Dependiendo del nivel de variabilidad deseado, se obtendrá menos desperdicio de materiales.</li> <li>- La relación costo/beneficio es de aproximadamente 1/10 a largo plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muchas veces no se sabe si se usa correctamente el seis sigma, debido a su complejidad de uso.</li> <li>- No hay indicadores de resultados que estén ligados al programa de seis sigma.</li> <li>- No tener una selección previa de los proyectos a asignar al programa.</li> </ul>

#### 2.1.2.2. Método Kaizen

Una de las maneras más eficientes de lograr la reducción de costos es implementando el sistema de mejora continua Kaizen. Este método no trata de recortar costos directamente, sino de gestionarlos. (Lefcovich, 2005)

La gestión de costos abarca inspeccionar los procesos de desarrollo, producción y venta de productos de buena calidad, lo que conlleva a la disminución de los costos o mantenerlos dentro de los límites. En este método, las posibilidades de disminuir los costos deben ser mencionados en términos de derroches y desperdicios. Simultáneamente, se proyecta que la



mejor forma de disminuir los costos en una compañía es mediante la prevención y detección del uso en exceso de recursos.

Según Lefcovich, el método Kaizen para la reducción de los costos se deben ejecutar siete actividades. Estas son:

1. *Mejoramiento de la calidad*: Es la parte central de esta metodología, la cual busca mejorar la calidad de los procesos de trabajo, generando como resultado una menor cantidad de errores, de productos defectuosos y de reprocesos; acortando el tiempo total de procesamiento y reduciendo la utilización de recursos, lo que traería consigo la disminución de los costos de las operaciones. El objetivo no solamente debe ser brindar productos exentos de defectos, sino de alcanzar esto al primer intento.

Las empresas tienen claro que es más costoso conseguir nuevos clientes que conservarlos. Al aumentar los niveles de calidad aumenta la satisfacción por parte de los clientes y consumidores, y como consecuencia se disminuyen los niveles de rotación, acompañado de ello un incremento en las ventas por estos mismos clientes.

2. *Disminución de inventarios*: El inventario genera necesidades de transporte y almacenamiento, y por ende absorbe los activos financieros. Los inventarios en la planta no generan valor agregado (en muchos casos) y se corre el riesgo del deterioro o desmejora de estos elementos, llámese materia prima, producto en proceso o producto terminado.
3. *Disminución del tiempo total de ciclo*: El tiempo total del ciclo comienza cuando la empresa paga los insumos de ingreso y termina cuando la empresa recibe el pago de sus clientes por los productos vendidos. Dicho de otro modo, el tiempo de espera representa la rotación del dinero. Si el tiempo de espera fuese más corto implicaría un mejor uso y rotación de los recursos, mayor satisfacción de la demanda y un menor costo de operaciones.

4. *Mejoramiento de la productividad*: Cuando los índices de productividad mejoran se genera un aumento en el volumen de producción con la misma cantidad de insumos, o un mismo volumen usando una menor cantidad de insumos.

El término insumos hace referencia a la mano de obra, los equipos, las instalaciones, materias primas y los servicios públicos. Para alcanzar esto, se proponen 3 pasos fundamentales:

- Fijar objetivos de productividad.
- Determinar acciones y estrategias concretas para lograr dichos objetivos.
- Medición de los logros obtenidos.

5. *Disminución del espacio utilizado*: El acotamiento de las líneas, genera una menor necesidad de espacio, pudiendo utilizarse los espacios sobrantes en la implantación de nuevas líneas, alquilar su uso a terceros, o bien eliminar la necesidad de arrendar locales.

6. *Acortamiento de las líneas de producción*: Una línea de producción larga conlleva a al uso de una mayor cantidad de insumos, lo que involucra mayor personal, mayor cantidad de trabajo en proceso y un tiempo de ciclo mayor. Asimismo, un mayor número de empleados implica un mayor riesgo de que se produzcan errores.

7. *Disminución del tiempo ocioso de las máquinas y equipos*: Máquinas detenidas implican tiempos muertos y esto representa la incapacidad de cumplir con los plazos de entrega y los objetivos de producción.

En relación con la aplicación de este método; Castillo, Inga & Miranda afirman que, para que haya disminución de los costos en una empresa, la estrategia utilizada no debería ser el recorte de personal, sino el usar un sistema que permita optimizar los costos reduciendo los inventarios almacenados, disminuyendo el tiempo ocioso de las máquinas y/o personales y así generar una mejora en los procesos y por ende generar mayor rentabilidad. Por ello, estos autores recomiendan aplicar el método Kaizen, tal como lo hicieron en la empresa BODYBOM, obteniendo resultados beneficiosos para la compañía. La influencia del método Kaizen permitió

reducir los costos comerciales, generando mayor utilidad y permitiendo su competitividad en el mercado. (Castillo, Inga, & Miranda, 2011).

Además, Gallegos afirma que “lo ideal es ver con “lupa” nuestros procesos internos, hacer un mapeo de los mismos para poder ver las áreas de oportunidad y/o área de mejoramiento”. Es por esto que en su investigación se enfoca en aplicar el sistema Kaizen, para lograr ver las áreas de oportunidad y poder prevenir o aplicar acciones correctivas a estas, con el fin de lograr un mejoramiento continuo, que traerá como resultados una reducción o ahorro de costos en esta área tan importante.

A continuación, se observa una tabla, donde se pueden apreciar las ventajas y desventajas que tiene esta metodología.

*Tabla 3 Ventajas y desventajas del método Kaizen. Fuente: Elaboración propia*

<b>MÉTODO: KAIZEN</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se enfoca el esfuerzo en espacios organizativos y de procedimientos puntuales.</li> <li>- Obtienen mejoras en un corto plazo y resultados visibles.</li> <li>- Si existe disminución de productos defectuosos, conlleva a una reducción en costos, como resultado de un menor consumo de materias primas.</li> <li>- Aumenta la productividad y dirige a la organización hacia la competitividad.</li> <li>- Ayuda a la adaptación de los procesos a los avances tecnológicos.</li> <li>- Permite eliminar procesos repetitivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando el mejoramiento se enfoca en un área concreta de la organización, se pierde la perspectiva de la interdependencia que existe entre todos los miembros de la empresa.</li> <li>- Demanda de un cambio en toda la organización, por la participación necesaria de todos los integrantes de la organización y a todo nivel.</li> <li>- El mejoramiento continuo se hace un proceso largo.</li> <li>- En múltiples ocasiones es imprescindible hacer inversiones de consideración.</li> </ul>

### *2.1.2.3. Costeo ABC*

El costeo basado en actividades (por sus siglas en inglés “Activity Based Costing”), es una herramienta diseñada para resolver problemas de costeo que se le presentan a la mayoría de las compañías.

El modelo de costos ABC se fundamenta en agrupar en centros de costos que forman una cadena de valor de los productos y servicios de la actividad productiva de la empresa. Se busca de forma óptima gerenciar las actividades que producen costos y se traducen en el costo final de los productos. Un factor trascendental es conocer el por qué se generan estos costos, con el fin de obtener el mayor beneficio posible de ellos, mermando todos los componentes que no generen valor.

Para calcular el costo de los productos terminados y analizar las actividades, el costeo ABC se basa en las siguientes afirmaciones:

- Las que causan costos son las actividades.
- Las actividades son las que consumen los productos.

El método ABC consiste en asignar los costos indirectos de fabricación (CIF) a los productos de la siguiente manera:

1. Identificar y analizar por separado las distintas actividades de apoyo que proveen los departamentos de apoyo.
2. Se estipulan los costos que les conciernen, estableciendo así conjuntos de costos homogéneos en el sentido de que la conducta de todos los costos de cada conjunto es expuesta por la misma actividad.
3. Cuando ya se hayan reconocido todas las actividades y cada uno de sus costos agrupados, entonces se deben encontrar las “medidas de actividad” que mejor describan el origen y variación de los costos indirectos de fabricación.

El costeo ABC se caracteriza por lo siguiente:

- Es un sistema de gestión, cuya finalidad es obtener información de medidas financieras y no financieras para tener una gestión óptima de la estructura de costos.

- Admite el conocimiento del flujo de las tareas, de tal que es factible la evaluación de cada una por separado y valorar la necesidad de su incorporación al proceso, con una visión al conjunto.
- Proporciona herramientas de valoraciones objetivas de imputación de costos.

Las empresas industriales que tomen la decisión de adaptar el método por actividades como parte del sistema de costos por proceso, deberían saber que sus operaciones de cálculo de costos por cada centro de responsabilidad se realizan de manera rutinaria. Esto consiste en acumular costos en cada proceso, la cual implica determinar la producción equivalente, determinar costos unitarios y valorizar la producción: completada, terminada, en proceso. (Sotomayor, 2015).

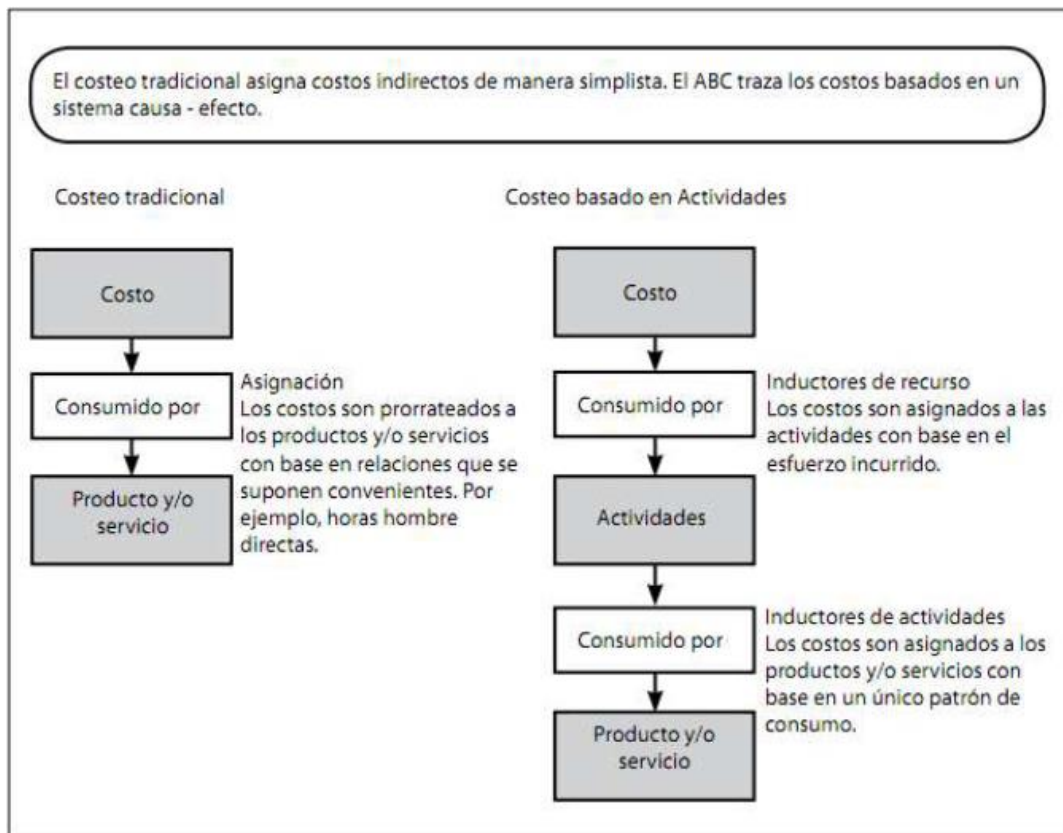


Figura 8 Costeo tradicional vs Costeo ABC (Sotomayor, 2015)

Con respecto a la aplicación de este método, Córdova & Rivas, aseguran que el sistema de costeo ABC se presenta como una herramienta útil de análisis del consumo de recursos y seguimiento de las actividades, las cuales consideran como los factores distinguidos para el

desarrollo y resultado final de la gestión dentro de las empresas manufactureras, ya que los recursos en el costeo ABC son consumidos por las actividades y estos a su vez son consumidos por los objetos de costo, considerando todos costos y gastos como recursos. (Cordova & Rivas, 2012).

Robles por su parte elabora y propone un “Sistema de Costos Basado en Actividades (ABC) para la empresa de panadería y pastelería Productos Ottone S.A.C., ya que este sistema tiene la capacidad para asignar los costos indirectos a los objetos de costos, mediante la identificación de las actividades y los generadores de costos”. Por lo que concluye que, “los sistemas ABC brindan mejores nociones que los sistemas tradicionales para la administración de los costos indirectos. En resumidas cuentas, es un sistema valioso para entender, administrar y reducir los costos”. (Robles, 2015)

A continuación, se observa una tabla, donde se pueden apreciar las ventajas y desventajas que tiene esta metodología.

*Tabla 4 Ventajas y desventajas del costeo ABC. Fuente: Elaboración propia*

<b>MÉTODO: COSTEO ABC</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No afecta directamente la estructura organizativa de tipo funcional, ya que el ABC gestiona las actividades y éstas se ordenan horizontalmente a través de la organización.</li> <li>- Determina bienes o servicios que generan mayor contribución al negocio.</li> <li>- Determina los costos variables a largo plazo del producto.</li> <li>- Proporciona información sobre las causas que generan la actividad y el análisis de cómo se realizan las tareas.</li> <li>- Permite hacer proyecciones de tipo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un método de costeo histórico.</li> <li>- Al asignarse costos por actividades y no a nivel de producto, se pueden cometer errores.</li> <li>- Implementación costosa.</li> <li>- La implementación es compleja a medida que se incrementan las actividades.</li> <li>- Centran en exceso la atención en la administración y optimización de los costos, descuidando la visión sistémica de la organización.</li> <li>- Requiere mayor esfuerzo y capacitación para lograr la</li> </ul>

financiero	<p>implementación adecuada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe poca evidencia que su implementación mejore la rentabilidad corporativa.</li> </ul>
------------	---

#### 2.1.2.4. Contabilidad Throughput

Está determinada como la velocidad en la que el sistema genera dinero a través de las ventas. En otras palabras, es el margen o ganancia real por producto, ya que, el gasto de operación (luz, agua, teléfono, nómina, renta de taller, gastos de administración, etc.) se debe pagar siempre, independientemente del volumen de producción que se tenga en la compañía. (Valdivieso & Vasquez, 2012)

“Es el dinero fresco que entra a la compañía. El throughput es el único indicador que está directamente identificado con el producto y tiene dos aspectos fundamentales: el ingreso y los costos totalmente variables” (Corbett, 2002)

La contabilidad del throughput (*TA, por su escritura en inglés: Throughput Accounting*) es diferente a la contabilidad de costos tradicional porque no determina todos los costos a los productos y/o servicios, sino que considera los gastos que son variables sean estipulados a estos productos y/o servicios que se derivan de las ventas para estipular la utilidad. Con respecto a la contabilidad de costos, la cual busca a como dé lugar la reducción de costos y gastos para generar utilidad, la contabilidad throughput busca es la generación de más rendimiento. (Perez & Henao, 2009)

La contabilidad del throughput, se basa en la teoría de restricciones (*TOC, por su expresión en inglés: Theory of Constraints*). Es una herramienta efectiva para encontrar líneas de negocios en procesos o productos que al parecer no son rentables, a los que se les debe trabajar con mayor esfuerzo a las ventas, y así mejorar de manera significativa la rentabilidad de la organización. (Perez & Henao, 2009)

La Teoría de Restricciones se basa en el principio de que existe una causa común para muchos efectos. Partiendo de esto, la Teoría De Restricciones ve a cualquier compañía como un

sistema que tiene un propósito global, el cual se ve impactado por cualquier acción de cualquier órgano, esto hace necesario el establecimiento de una meta global y el cómo se va a medir el impacto de cualquier subsistema sobre la misma.

Esta teoría considera que existen pocas causas que originan muchos efectos. En este orden de ideas, se definen las restricciones del sistema como las) causas que limitan al sistema para obtener un mayor desempeño en relación con su meta. Esta afirmación de las restricciones del sistema parte de una deducción lógica que afirma que, de no haber restricciones, las ganancias de la empresa serían infinitas, lo cual es imposible, por lo tanto, debe existir al menos una.

En base a lo anterior, TOC tiene un proceso de mejora continua que trabaja sobre esa(s) restricciones, cuyas actividades son las siguientes:



*Figura 9 Instructivo para identificación de restricciones del sistema. Fuente: Elaboración propia*

La teoría de restricciones presume que el objetivo de la organización es: “hacer dinero ahora y en el futuro”. Goldratt y Fox, establecen que para medir en qué grado la gestión de una organización se orienta hacia su meta se requieren dos grupos de indicadores: los financieros o globales y los operativos. (Corbett, 2002)

Los indicadores operativos son:



1. Throughput (*T*): Es la tasa a la que el sistema genera dinero por medio de las ventas. En otras palabras, es el dinero que ingresa a la compañía. El throughput, es el único indicador que está identificado con el producto y posee dos componentes fundamentales: el ingreso [\$] y los costos totalmente variables.
2. Inventario (*I*): Es el dinero que el sistema invierte para comprar activos que posteriormente se desea vender. Este se define como el dinero que aún está en el sistema.
3. Gastos de operación (*GO*): Es el dinero total que gasta el sistema transformando la inversión en throughput. A diferencia de la contabilidad de costos tradicional, en este concepto contiene el costo de la mano de obra directa y los gastos de fabricación, de venta y de administración. Todos estos son tratados como “gastos de período”.

Los indicadores financieros o globales se ejecutan a partir de los indicadores operativos. Se hace de la siguiente manera:

$$Utilidad Neta (UN) = Throughput (T) - gastos de operación (GO)$$

$$Retorno sobre la inversión (ROI) = (Throughput (T) - \frac{gastos de operación (GO)}{Inventario (I)})$$

Cualquier disposición que tenga un impacto positivo en el retorno sobre la inversión (ROI) conduce a la compañía hacia su objetivo. En la evaluación de cualquier acción, se debe tener en cuenta la relación que tienen los tres indicadores operativos. (Perez & Henao, 2009).

Un elemento que anteriormente se definió y que tiene un papel trascendental en TOC es la restricción. Está debe relacionarse con los indicadores definidos para poder complementar el concepto de la Contabilidad del Throughput. En esta teoría la restricción está dada por el eslabón más débil, es decir, el proceso de menos capacidad (por ello es la importancia de Identificar la(s) restricción(es) del sistema).

Para los procesos de producción, es de vital importancia identificar qué tipo de restricciones hay por referencia o producto; estas pueden ser por demanda del mercado (la cual solicita menos de lo que se produce) o por capacidad del proceso, llamado RRC (Recurso con Restricción de Capacidad). Cabe resaltar en esta parte que para determinar el Recurso con Restricción de Capacidad hay que determinar la capacidad de los procesos y la velocidad a la cual estos trabajan, para establecer la ocupación del producto que se está procesando en el RRC.

Con el tema de la restricción ya definida, se procede a relacionarla con el Throughput, para generar el siguiente indicador:

$$T = \frac{\text{Precio de venta unitario}[\$/u] - \text{Costo de producción}[\$/u]}{RRC[\text{tiempo}/u]} = T \left[ \frac{\$}{\text{tiempo}} \right]$$

Esto indica cuanto Throughput se concibe por tiempo del RRC utilizado, de esta manera se relaciona el Throughput con la restricción del sistema y con base en esto es factible determinar cuánto contribuye cada producto a la meta global del sistema, teniendo en cuenta la(s) restricción(es) del sistema, los conceptos anteriores son los que enmarcan la Contabilidad del Throughput.

Con respecto a la aplicación de este método, Morales & Pizarro comentan que, la contabilidad Throughput les permitió evaluar diferentes alternativas de producción, descubriendo el impacto sobre la rentabilidad del negocio. Cuando se aplicó esta metodología en la empresa Afuz, proporciono a los directivos la información detallada de cada uno de sus productos, para poder establecer un orden jerárquico con respecto a la rentabilidad y así obtener una herramienta clave para la planificación de la producción, para lograr mejores resultados en la utilidad final de la empresa. (Morales & Pizarro, 2007).

A continuación, se observa una tabla, donde se pueden apreciar las ventajas y desventajas que tiene esta metodología.

Tabla 5 Ventajas y desventajas del método Contabilidad Throughput. Fuente: Elaboración propia

<b>MÉTODO: CONTABILIDAD THROUGHPUT</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es simple y lógica.</li> <li>- Permite una mejor toma de decisiones.</li> <li>- Planificación de la producción teniendo en cuenta los recursos con restricción.</li> <li>- Esfuerzos enfocados en el área restrictiva.</li> <li>- Busca cumplir la meta de la empresa.</li> <li>- Es complementario a TQM (Total Quality Management) y JIT (Just in Time).</li> <li>- Considera la capacidad disponible de la empresa para poder decidir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Está orientada a corto plazo.</li> <li>- No calcula el costo unitario de los productos.</li> <li>- No contemplado en las leyes Tributarias.</li> <li>- No tiene en cuenta el costo.</li> </ul>

#### 2.1.2.5. Costeo por objetivos

Es una técnica adoptada por las empresas japonesas, para entrar en los mercados extranjeros. Esta consiste en ofrecer un producto de calidad y además brindar un precio que afirme la demanda. Para ello, se parte de un “precio objetivo” y de un “nivel de utilidad planeada”, los cuales determinan los costos que tendría la compañía por el ofrecimiento de este producto. De esto, surge un nuevo concepto, que se denomina costo meta. En este se busca que el costo en que se incurra surja de la diferencia entre el precio meta establecido y la utilidad que se desea. (Morillo, 2001)

$$\text{Costo meta} = \text{Precio meta} - \text{Utilidad deseada}$$

El proceso de costeo por objetivo involucra proyecciones de precio, determinación del beneficio deseado, y conocimiento tecnológico de la empresa.

En la primera parte, es preciso considerar el ciclo de vida del producto, la concepción del producto, las reacciones del competidor, el consumidor al cual se dirige, y otras.

Luego, la segunda parte se deriva de la elaboración de un plan de beneficios que tenga la compañía para la re-inversión o según sean las necesidades de financiamiento.

Finalmente, la tercera parte puede obtenerse de productos similares elaborados por la compañía o por sus competidores, los cuales sirven de referencia para el cálculo del costo meta y el proceso de manufactura del nuevo producto, como un proceso regresivo del cual no pueden excederse los ingenieros. (Morillo, 2001)

En otras palabras, luego de sustraer una utilidad aceptable del precio estimado se compara el costo meta con el costo estimado, y si el último excede al costo meta se puede cambiar el diseño del producto, del proceso o de la logística para tratar de reducir costos. También se puede plantear un margen de utilidad más bajo, o decidir no elaborar el producto. (Morillo, 2001).

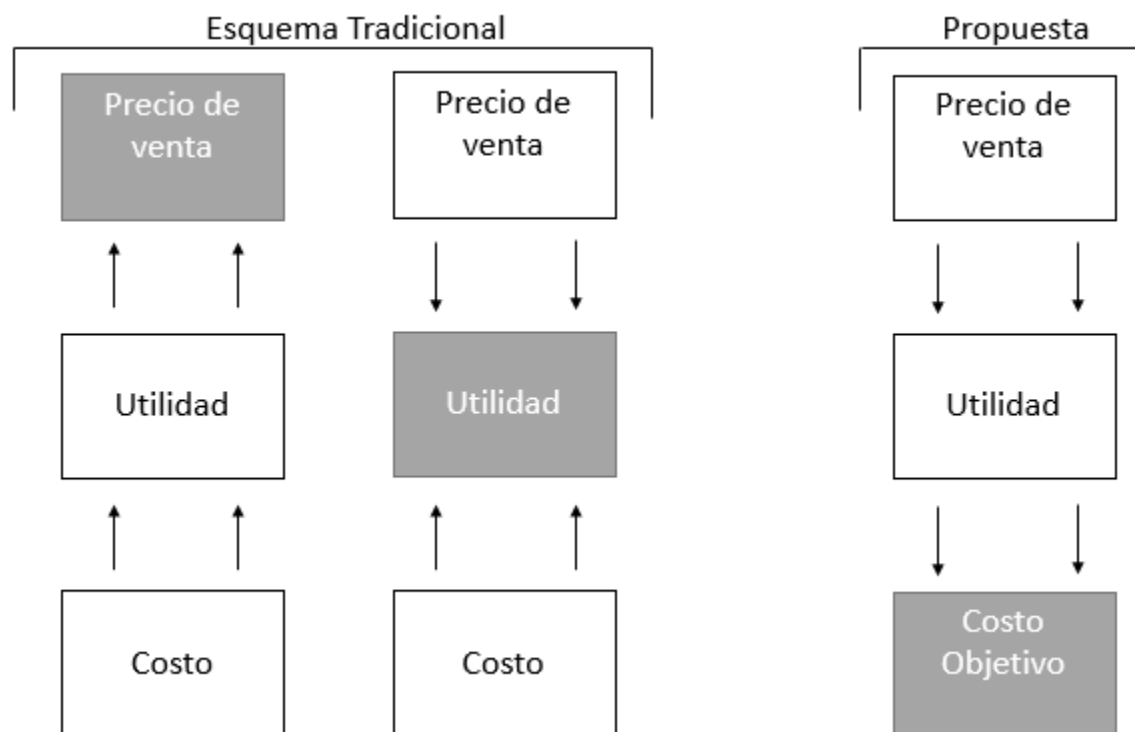


Figura 10: Esquema tradicional de costos vs Costeo por objetivos (Morillo, 2001. La Rentabilidad Financiera y sus Componentes. En Rentabilidad Financiera y Reducción de Costos (Pag. 38))

En esta figura se puede apreciar la diferencia que existe entre el costeo por objetivos (propuesta) y el esquema tradicional de costeo, donde ambos manejan los mismos factores (precio de venta, utilidad y costo), pero el flujo de información de estos es diferente, ya que comúnmente se determina el precio de venta partiendo de una tasa mínima de retorno o utilidad y el costo en que se incurrió. Sin embargo, con la metodología del costeo por objetivos, se determina el costo luego de haber definido la diferencia entre el precio de venta y la utilidad.

Con respecto a la aplicación de este método, Gayle asevera que para la ejecución de esta técnica es necesario utilizar la ingeniería de valor, con el fin de establecer el costo objetivo, el cual se fundamenta en la idea de que los productos y servicios tienen que demostrar que guarda valor de relación con los costos incurridos por la empresa; y es aplicada en la etapa de investigación y desarrollo, ocasionando al hallazgo de maneras diferenciales para la reducción de los costos, en contraste con el control de costos efectuado en la contabilidad tradicional a través del costeo estándar. (Gayle, 1999)

A continuación, se observa una tabla, donde se pueden apreciar las ventajas y desventajas que tiene esta metodología.

*Tabla 6 Ventajas y desventajas del método Costeo por objetivos. Fuente: Elaboración propia*

<b>MÉTODO: COSTEO POR OBJETIVOS</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encuentra su mayor valor en el proceso en sí mismo, más que en el resultado numérico alcanzado.</li> <li>- brindar pautas sobre la competitividad global de la compañía.</li> <li>- Integra a las diversas áreas de la empresa en tareas cooperativas no sólo para el costeo objetivo en sí.</li> <li>- Estimula la comunicación.</li> <li>- Contribuye a la reducción de costos en el momento de mayor impacto que es especialmente la etapa de diseño</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Largos tiempos de desarrollo.</li> <li>- Mucho esfuerzo exigido a los miembros de la organización.</li> <li>- Demasiada atención a los deseos del cliente que, en ciertos casos puede llegar a ser contraproducente</li> <li>- Exige un compromiso total de la organización desde los niveles más altos</li> <li>- No se lo puede insertar aisladamente en una empresa que no tenga una visión permanente de mejora continua</li> </ul>

del producto.	y reducción sistemática de costos incorporados en todos los sectores.
---------------	---

### ***2.1.3 Marco Legal***

A continuación, se presentan las principales normas vigentes que regulan a la empresa objeto de este proyecto, siendo ésta una sociedad anónima propia de ejercer la actividad comercial de conformidad al sistema jurídico que rige en el país. Las sociedades mercantiles en Colombia se encuentran reglamentadas principalmente por el Decreto número 410 del 1971, mediante el cual se expide el Código de Comercio, dentro del cual se establecen todas las disposiciones jurídicas para la regulación y control de la actividad comercial.

La Sociedad Anónima, es una sociedad comercial con personería jurídica en la que el capital se encuentra dividido en acciones, derivadas de los aportes realizados por sus socios y está reglamentada específicamente por la siguiente normatividad:

- Decreto 410 de 1971 – Código de Comercio:
  - Título II: de los actos, operaciones y empresas mercantiles.
  - Título IV Capítulo I: de la sociedad anónima, artículo 373 y ss.
- Ley 222 de 1995, Capítulo VII, Sección I: constitución de la sociedad anónima.

### ***2.1.4. Marco Espacial***

La compañía Tenaris Tubocaribe se encuentra ubicado en el Parque Industrial Carlos L. Pombo, Km.1 Vía Turbaco en la ciudad de Cartagena, Colombia. Esta tesis se desarrollará en la empresa mencionada, pero la intención es que sea replicable en otras fábricas manufactureras de la ciudad o del país que estén teniendo inconvenientes con la misma problemática.

## **2.2. Conclusiones de referencias**

La metodología seleccionada para la ejecución de este proyecto se centra en las herramientas Seis Sigma y la metodología DMAIC. Esta selección se basa en la problemática presentada: Desperdicio de materia prima y su objetivo principal, plan de reducción de cantidad de productos defectuosos. Seis sigma, a diferencia de otras metodologías presentadas como costeo ABC, costeo por objetivos, aborda dos aspectos al mismo tiempo. El primer aspecto tiene que ver con los requerimientos técnicos de análisis y evaluación, de ahí que esta metodología fundamenta su accionar en el manejo de herramientas estadísticas. Para alcanzar una reducción considerable en la variabilidad de los procesos se hace necesario el uso de una base estadística, que permita que los límites de especificación estén a seis desviaciones estándar del promedio. Con este proceder se asegura que la probabilidad de que se generen errores sea inexistente.

El segundo aspecto apunta a la reducción de desperdicio de materia prima, perspectiva que tiene que ver más con la reducción de piezas defectuosas, ya que se busca disminuir la cantidad para ser más productivos y poder competir con el mercado actual, para poder brindarle al cliente productos de calidad, generando producto y/o servicios que cumplan con sus necesidades.

Un dato que cabe destacar es que esta metodología es utilizada por un gran número de empresas en el mundo, que se han visto en situaciones negativas para su futuro industrial y con la aplicación de proyectos Seis Sigma han hallado la reducción de sus imperfecciones para sus organizaciones que es la problemática que fundamenta este proyecto.

## **CAPITULO III**

### **3.1. Aplicación de la metodología DMAIC**

Como parte de la propuesta de aplicación de las herramientas de seis sigma, se ha seleccionado la metodología DMAIC, en donde se define, se mide, se analiza el problema, y se implementa y controla un plan de reducción de cantidad de piezas defectuosa generadas en la fabricación de cuplas, con el fin de reducir costos asociados a desperdicios y reprocesos. A continuación, se presenta el despliegue de cada etapa.

#### ***3.1.1. Definir***

En esta etapa, se realiza una definición y delimitación del problema que se desea solucionar mediante la implementación de la metodología DMAIC. En ella se plantea el objetivo, impacto esperado del proyecto de mejora, además se define el proceso y se realiza una definición del alcance del proyecto.

Para el presente proyecto, esta etapa inicia con la definición del problema, seleccionando la etapa del proceso de fabricación de cuplas en la cual se centrará el plan de mejora que se va a plantear, posteriormente se definen los objetivos, los integrantes del equipo de trabajo, recursos y tiempos en los que se va a desarrollar el planteamiento e implementación del plan de mejora.

En los proyectos de Seis Sigma es usual que, en la etapa de Definir, se elabore un Project Charter, el cual consiste en una ficha técnica del proyecto a realizar, en la cual se definen los integrantes del equipo, los tiempos del proyecto, recursos necesarios y se realiza un compromiso o meta de mejora, la cual se pretende alcanzar con el proyecto propuesto. Para el caso de este proyecto no se elaboró un Project Charter, debido a que sería necesario realizar un análisis de viabilidad económica de las acciones propuestas en el plan y para algunas acciones, no se cuenta con la información suficiente para realizar dicho análisis, además, el alcance de este proyecto no abarca la implementación del plan propuesto, ni la medición de las mejoras.

##### ***3.1.1.1. Identificación del problema***

Como se menciona en el capítulo 1, en la sección de planteamiento del problema, la planta FACU durante sus 2 años en operación, ha invertido mucho dinero en costos asociados a pérdida de materia prima en su proceso productivo, básicamente se estima que, por la



naturaleza del proceso de maquinado, se pierde la mitad del acero que ingresa a proceso, pero actualmente la pérdida es de alrededor del 80%, dichas pérdidas se asocian a:

- Pérdidas naturales de proceso. El maquinado es un proceso de fabricación con remoción de material.
- Pérdidas de material por no conformidades o defectos en los productos. Piezas descartadas por control de calidad.

En el caso de las pérdidas de material por no conformidades o defectos en el producto terminado, se debe tener cuidado pues con estas se incurren en sobrecostos por pérdida de piezas descartadas y sobrecostos por reprocesos, asociados a pérdida de utilización de máquinas, generación de pagos de horas extra al personal, etc. El presente proyecto apunta a mejorar los procesos para disminuir los sobrecostos asociados a la generación de producto no conforme, tanto por descartes como por reprocesos, mediante la aplicación de herramientas de la metodología Seis Sigma. El proceso de fabricación de cuplas está conformado por los siguientes pasos:

1. Corte de manguitos. A las cortadoras ingresan tubos de acero con dimensiones específicas, allí se cortan en piezas cilíndricas más pequeñas, con dimensiones específicas, llamadas manguitos.
2. Los manguitos dependiendo del tipo de producto, ingresan a tornos de desbaste interno, externo o directamente al roscado. Cabe aclarar que todo lo que sale del desbaste entra al roscado, pero no necesariamente todo el material debe ingresar al desbaste.
3. Posteriormente, las cuplas roscadas son inspeccionadas con métodos no destructivos (inspección de partículas magnéticas), donde se pueden descartar piezas por presencia de grietas o fisuras.
4. Los acoples inspeccionados se ingresan a una línea de fosfatizado, donde se le aplica un recubrimiento para protegerlo de la corrosión.

5. Posteriormente los acoples son pintados de acuerdo a un código de colores y son embalados en pallets.

Según lo anterior, el proceso de fabricación enunciado anteriormente se ilustra en la **figura 11**.

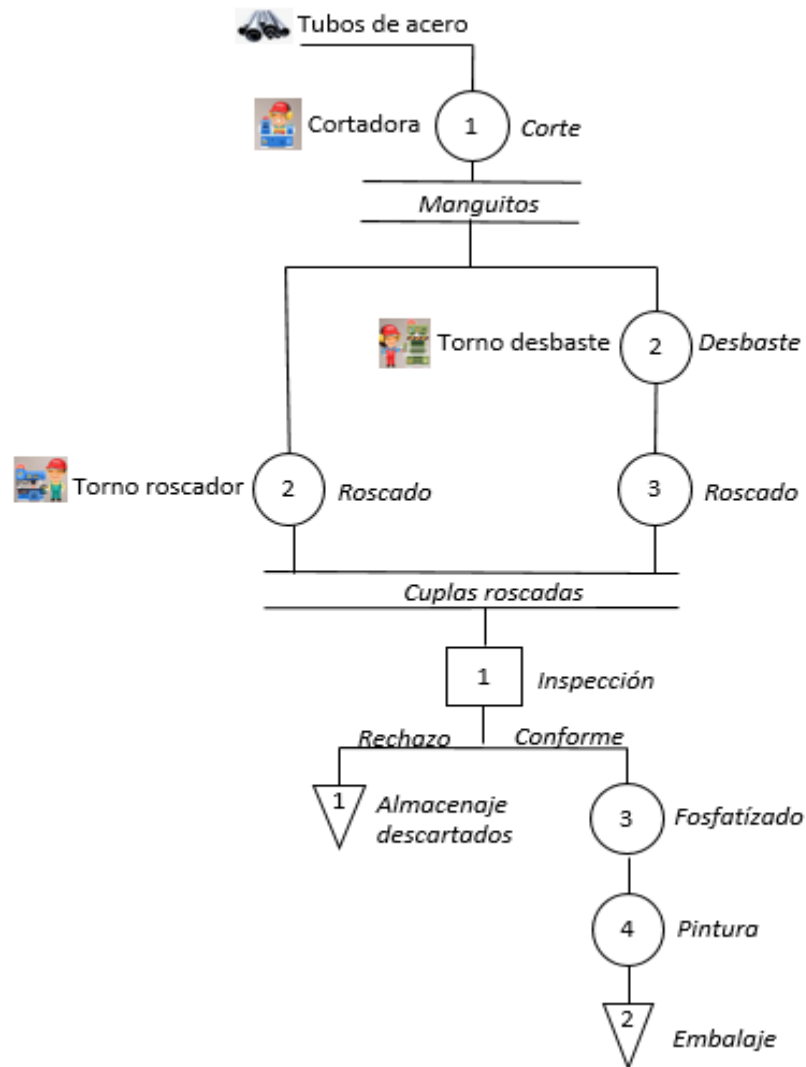


Figura 11 Diagrama de proceso de fabricación de cuplas

En cada paso del proceso, se pueden presentar diferentes defectos, asociados a las transformaciones que sufre el material en cada etapa, con el fin de delimitar el proyecto, se realizó un estudio de generación de defectos por cada etapa, con el fin de determinar en cuál se

va a enfocar el plan de mejora propuesto, para este estudio, se tomaron datos históricos de la planta de los últimos 3 meses, como se muestra en la tabla 7.

*Tabla 7 Tabla de descartes por cada proceso de FACU. Fuente: Tenaris*

	MAYO [UN]	JUNIO [UN]	JULIO [UN]	TOTAL [UN]	DESCARTE [UN]	% DESCARTE
<b>CORTADORAS</b>	166,573	148,846	160,719	476,138	1,108	0.23%
<b>DESBASTE</b>	100,845	93,340	116,119	310,304	1,440	0.46%
<b>EMBALAJE</b>	166,104	136,780	159,127	462,011	0	0.00%
<b>FOSFATIZADO</b>	173,233	139,503	163,026	475,762	0	0.00%
<b>ROSCADO</b>	159,056	150,800	144,905	454,761	14,079	3.10%
<b>INSPECCION</b>	161,824	136,531	159,390	457,745	626	0.14%

Se observa que la mayor pérdida de materia prima por descartes está en los tornos de roscado, por lo que allí es donde se enfocará el plan de mejora propuesto. La planta tiene fijado para esta etapa del proceso un objetivo de 2.20% de rechazo, observando los resultados de estos 3 meses, se observa una desviación de 0.9%, lo cual implica en promedio un rechazo de 2046 piezas mensuales.

De esta forma, se resume el problema a tratar por este proyecto como: Durante los 2 años de operación de FACU TuboCaribe, se viene presentando un desperdicio del 80% del acero utilizado para la fabricación de cuplas, la principal pérdida se asocia a los descartes por defectos presentados en el proceso de roscado, llevado a cabo en los tornos CNC, en los cuales se presenta una desviación respecto a la meta de descartes del 0.9%.

### *3.1.1.2. Mapa de proceso de roscado*

El mapa de proceso es una herramienta que permite visualizar cada una de las etapas del proceso de roscado, ayuda a entender las secuencias de procesos, como interactúan las entradas al proceso y cuáles son las salidas a los procesos siguientes. Esta información facilitará la fase de medición. Este mapa se realizó basado en las observaciones realizadas al proceso.

### Descripción del proceso:

1. Como se mencionó anteriormente, el proceso de roscado consta de alrededor de 32 tornos CNC, programados de acuerdo a la carga de planta programada, a estos tornos ingresa la pieza de metal cortada, también llamada manguito, proveniente desde las cortadoras o desde un torno de desbaste, dependiendo del tipo de producto que se esté procesando.
2. Se realiza un alistamiento de parámetros de la máquina y se carga el programa de roscado de acuerdo al producto procesado, esta actividad es realizada por el tecnólogo de la planta.
3. Se ingresa el manguito a la máquina y se inicia el roscado.
4. Al finalizar de roscar un extremo, se voltea la cupla para roscar el siguiente extremo. Existen paradas para remover la viruta generada del proceso de roscado.
5. Una vez finaliza el roscado de ambos extremos de la cupla, se realiza una verificación de medidas y presencia de defectos, realizada a determinada frecuencia, establecida por un procedimiento.
6. Si la cupla cumple especificaciones, se envía al siguiente proceso, si se encuentra algún defecto, la pieza es descartada y se realizan ajustes de parámetros en el torno para corregir el problema, algunos defectos pueden ser corregidos en el acople mediante reproceso.

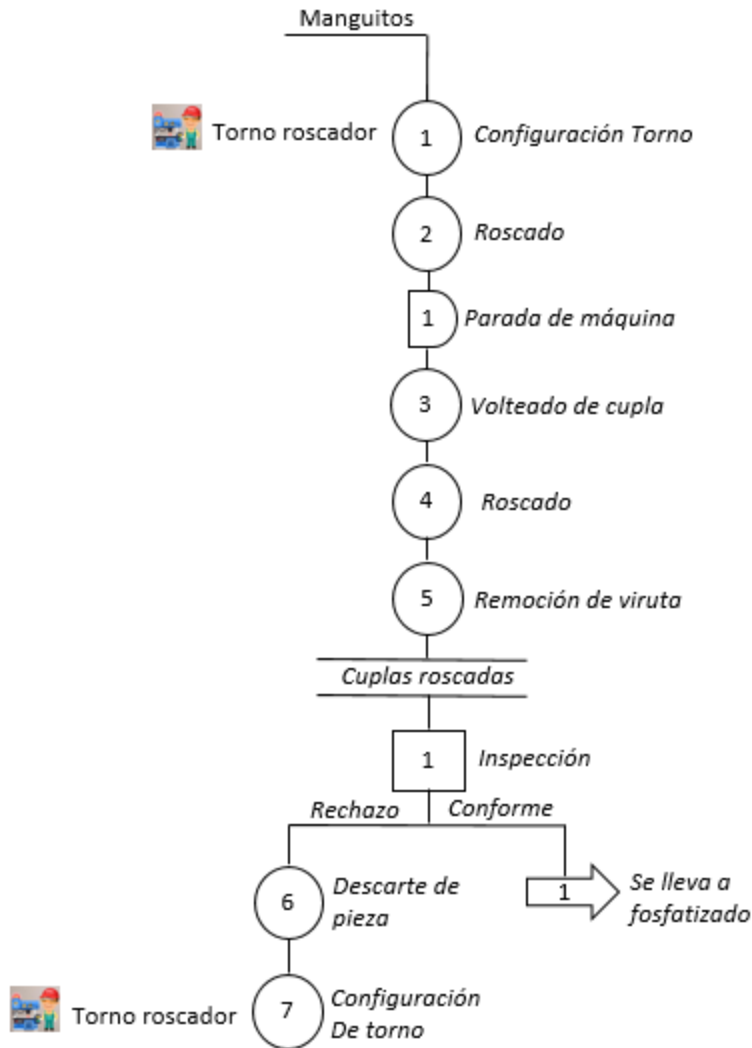


Figura 12 Diagrama del proceso de roscado

### 3.1.1.3. Diagrama SIPOC

El SIPOC es una herramienta de la metodología DMAIC, mediante la cual se visualizan los procesos llevados a cabo en el sistema analizado, sus entradas, salidas y cuáles son los proveedores y clientes de cada proceso, el nombre SIPOC se deriva de las palabras en inglés “Suppliers”: clientes, “Inlets”: Entradas, “Process”: Proceso, “Outlets”: Salidas y “Clients”: Clientes. Cada eslabón de la cadena de valor de una compañía tiene su respectivo diagrama SIPOC. Realizar el SIPOC de cada etapa del proceso contribuye a que la empresa aprenda a trabajar por procesos y ser conscientes de como su forma de trabajar afecta a los procesos siguientes.

Para la implementación de esta herramienta, se realizaron reuniones con el equipo de trabajo del proyecto, y se ejecutaron los siguientes pasos:

1. Identificación de los procesos (Mapa de procesos).
2. Establecer las entradas y recursos necesarios.
3. Establecer los proveedores de cada entrada al proceso.
4. Definición del proceso.
5. Establecer quién es el cliente de cada una de las salidas obtenidas.
6. Armado del diagrama SIPOC.

En la figura 13 se observa el diagrama SIPOC elaborado para este proyecto, como se explicó en este se observan los procesos llevados a cabo, cuáles son las entradas, salidas, clientes y proveedores del roscado de cuplas.

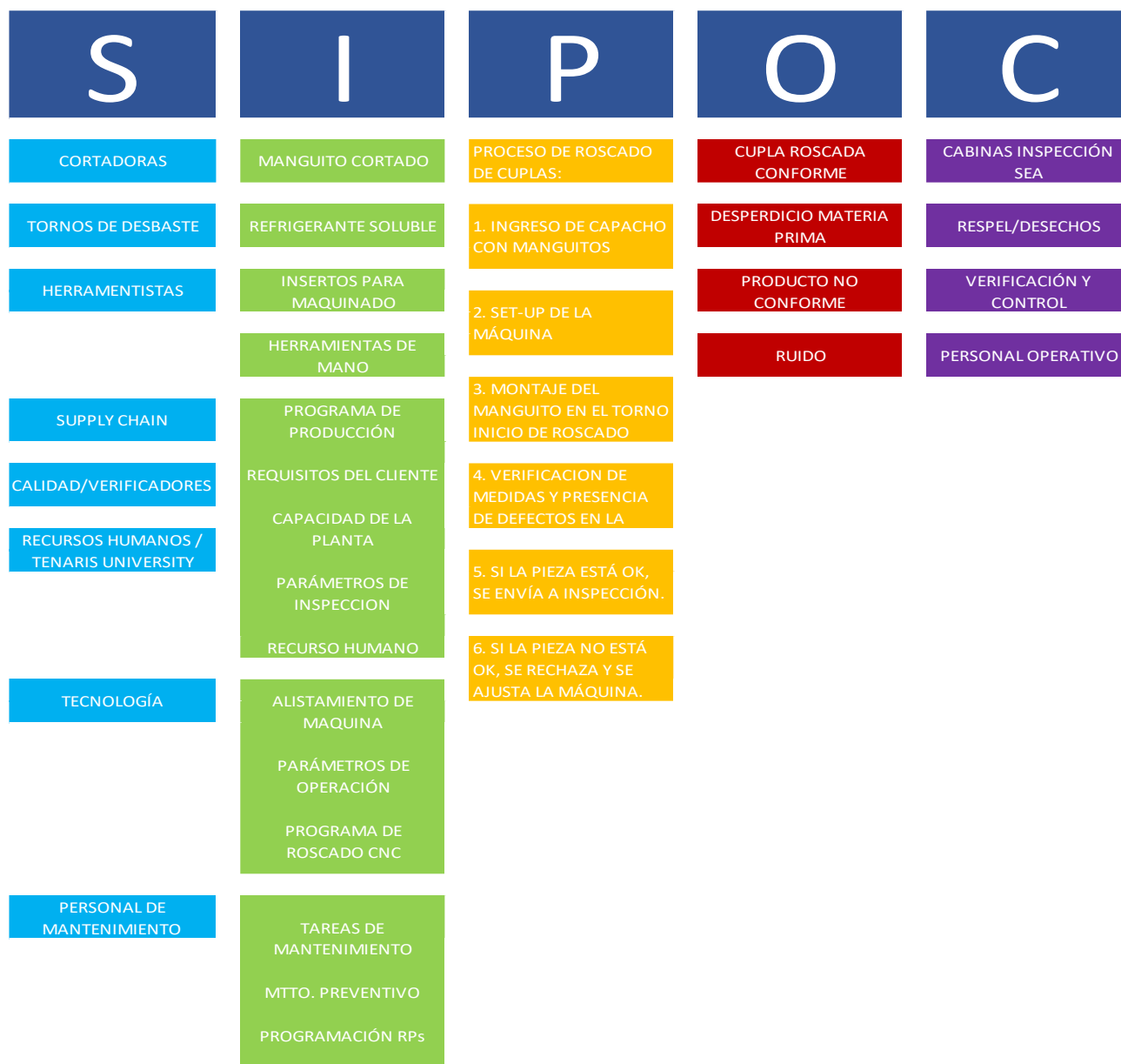


Figura 13 Diagrama SIPOC para el proceso de roscado de FACU en Tenaris TuboCaribe

El diagrama obtenido de la herramienta SIPOC permite identificar dentro del proceso de roscado, las relaciones entre las etapas operativas, las entradas administrativas, proveedores internos, las salidas de producto conforme, la salida de productos que cumplen con especificación, los clientes externos e internos del proceso, por tanto, esta herramienta, será de gran importancia para establecer relaciones de causalidad y el planteamiento de las acciones de mejora.

### 3.1.2. Medir

En esta etapa se realizó en conjunto con el equipo de trabajo del proyecto, una recolección de datos del proceso de roscado, tales como cuales son los defectos que se presentan en el roscado de cuplas, piezas producidas por máquina, por fecha y turno, cantidad de defectos presentados durante las producciones en determinado lapso de tiempo y qué operarios trabajan en determinada máquina, con el fin de observar comportamientos, tendencias, relaciones entre variables y establecer los patrones de variación del proceso de roscado.

Por esto, esta sección inicia con la elaboración de un catálogo de defectos presentados en el proceso de roscado, posteriormente se determinan de acuerdo a la información recolectada, cual es la variable de interés para este proyecto y que variables críticas la afectan, luego se priorizan las variables críticas mediante el uso de diagramas de Pareto y finalmente se determina el nivel Sigma actual del proceso y el nivel Sigma deseado de acuerdo a la especificación establecida por la empresa.

#### 3.1.2.1. Catálogo de defectos e imperfecciones en cuplas:

A continuación, se presenta un catálogo de las no conformidades más presentadas en el proceso de roscado, realizando la distinción entre un defecto y una imperfección, además se presenta con fotografías cada tipo de no conformidad.

Defectos: Los productos con esta característica son rechazados inmediatamente.

- *Hombro rayado perceptible con 0,05mm*: Es una irregularidad en la superficie de una zona mecanizada, causada, generalmente, por imperfecciones en las herramientas de corte. Ver figura 14.

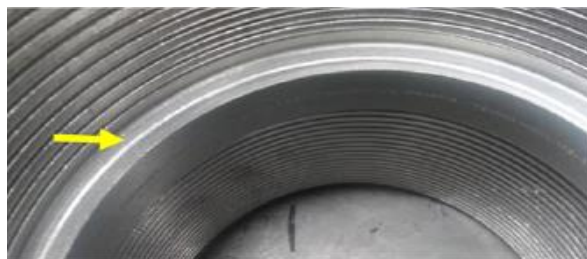
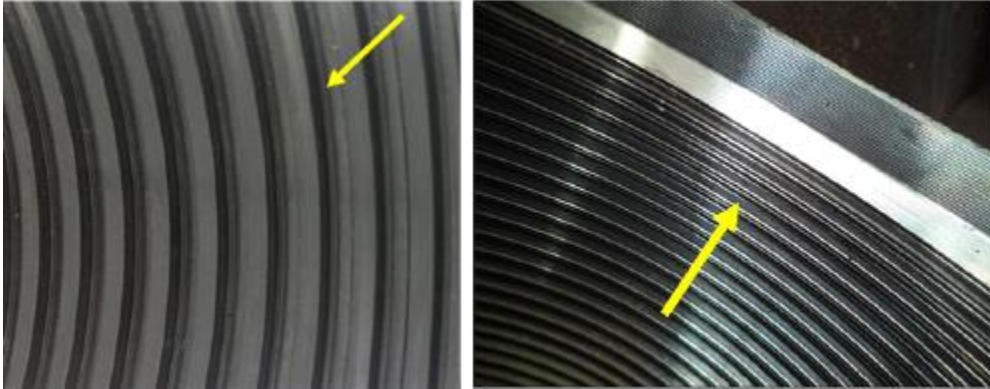


Figura 14 Cupla con Hombro rayado perceptible

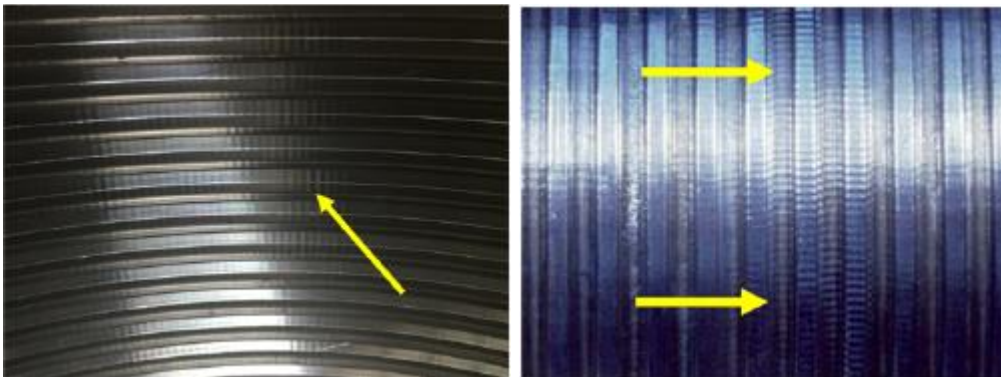


- *Escalón*: Característica particular de la forma de la rosca que muestra una desviación abrupta en el maquinado por encima o abajo del perfil normal de la rosca. Ver figura 15.



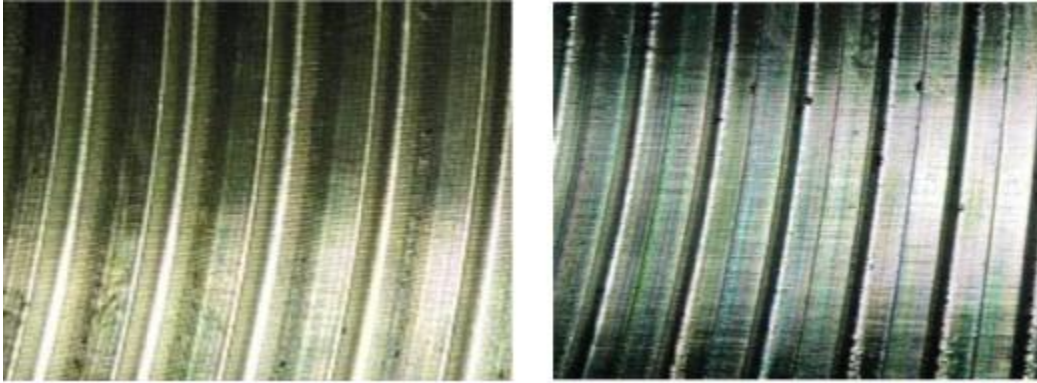
*Figura 15 Cupla con Escalon*

- *Vibración*: Superficie ondulada con el flanco, raíz, cresta de la rosca o en el bisel, producida por vibraciones del inserto de corte. Ver Figura 16.



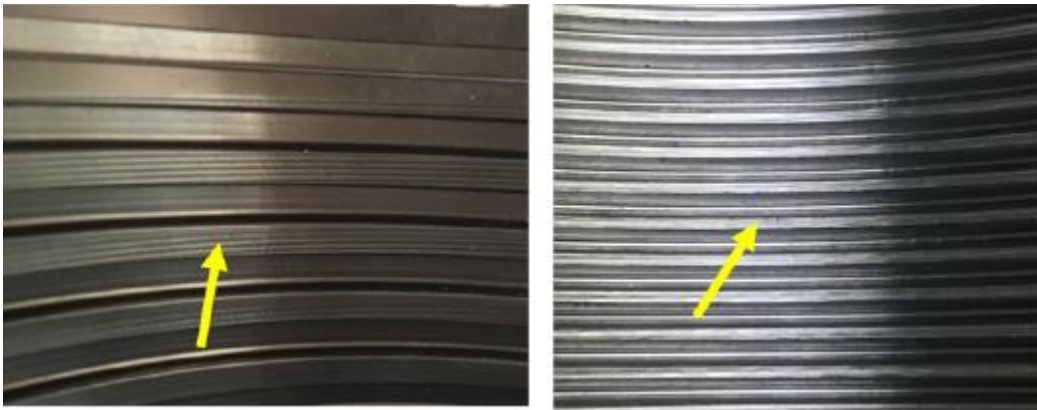
*Figura 16 Cupla con Vibración*

- *Vibración tipo moneda*: Superficie con vibrado fino con el flanco, raíz, cresta de la rosca o en el bisel, producida por vibraciones del inserto de corte. Ver Figura 17.



*Figura 17 Cupla con Vibración tipo moneda*

- *Rosca incompleta*: Hilos que no tienen la cresta completa. Ver Figura 18.



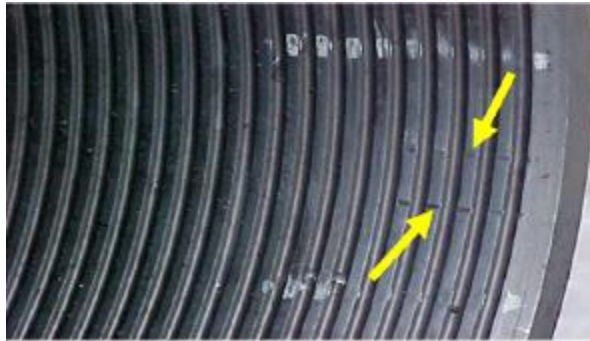
*Figura 18 Cupla con Rosca incompleta*

- *Inicio de rosca en el refrentado o cara portante*: Una porción de rosca con cresta muy aguda originada normalmente cuando el inicio de rosca sale en la cara frontal del acople y no en el bisel. Ver Figura 19.



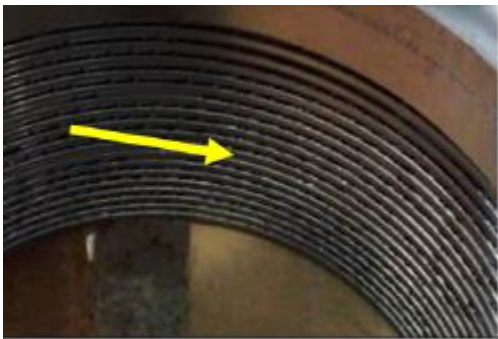
*Figura 19 Cupla con Inicio de rosca en el refrentado o cara portante*

- *Daños por manejo*: Rayadura, abolladura, marcas o aplastamiento de cresta que se originan durante el manejo (cargas, descargas, desplazamiento de los tubos en tránsito, etc.). Ver Figura 20.



*Figura 20 Cupla con Daños por manejo*

- *Viruta*: Parte metálica en la superficie de rosca o bisel y que puede quedar pegada o adherida. Ver Figura 21



*Figura 21 Cupla con viruta*

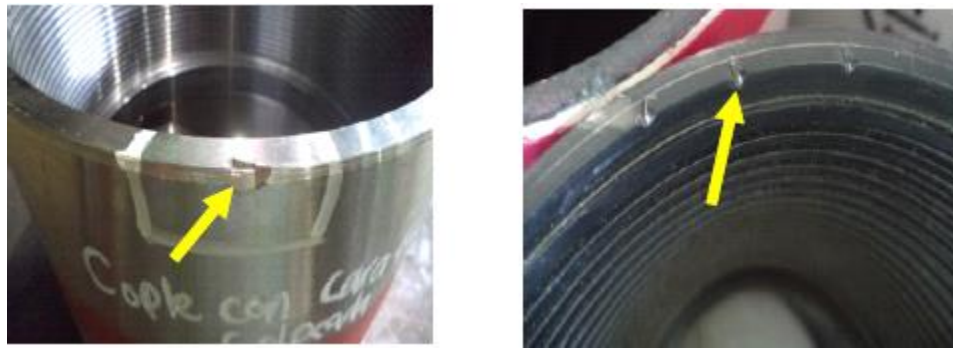
- *Fuera de altura*: Insuficiente altura (profundidad) de la rosca. Esta anomalía puede ser causada por una excesiva eliminación de metal en el fondo o en la cresta con consiguiente deformación del contorno del perfil. Ver Figura 22.



*Figura 22 Cupla fuera de altura*

Imperfecciones: Esta falla tiene opción de poder recuperarse realizando un tratamiento específico.

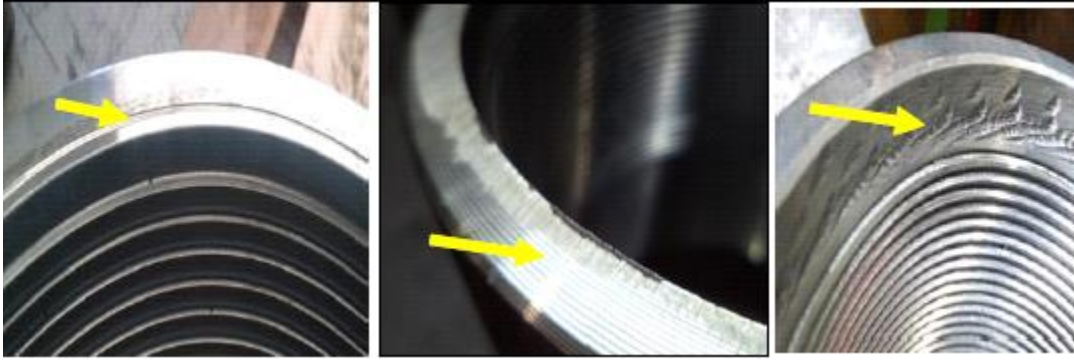
- *Daños por manejo*: Ralladura, abolladura, marcas o aplastamiento de otras zonas diferentes al área roscada. Ver Figura 23.



*Figura 23 Cupla con imperfección por daños*

- *Marca de herramienta*: Una irregularidad en la superficie del acople, en el bisel o en la superficie de una zona mecanizada, causada, generalmente, por imperfecciones en las herramientas de corte y susceptibles de recuperar. Ver Figura 24.





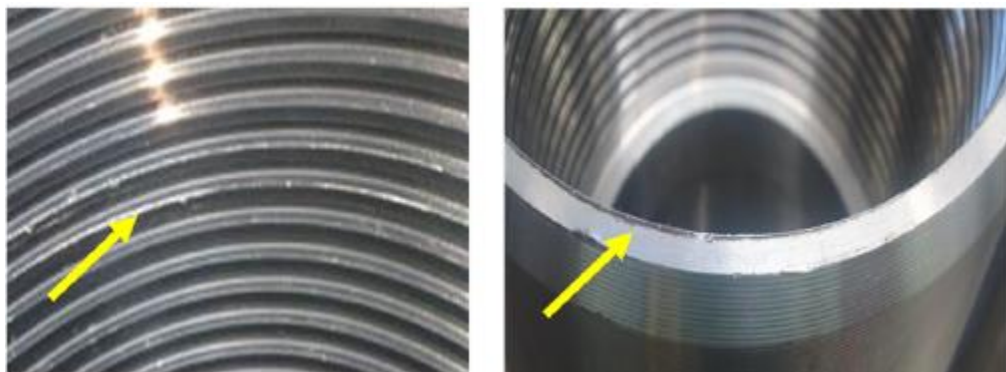
*Figura 24 Cupla con Marca de herramienta*

- *Rebaba*: Un punto localizado de aspereza o borde delgado, generalmente producido durante el proceso de mecanizado. Ver Figura 25.



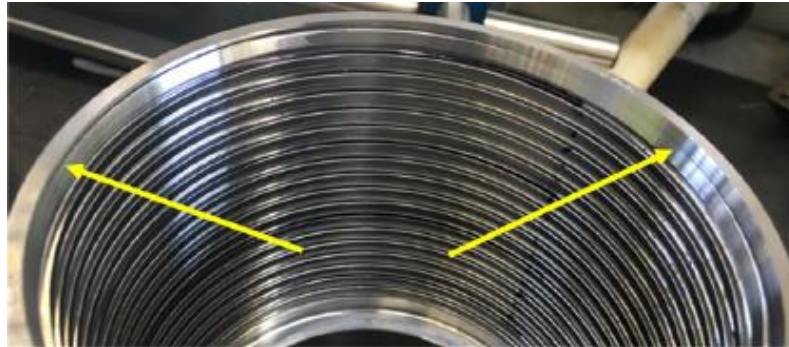
*Figura 25 Cupla con Rebaba*

- *Filo*: Borde largo y delgado de metal que resalta sobre la superficie del bisel o perfil de rosca. Ver Figura 26.



*Figura 26 Cupla con filo*

- *Interrupción en el inicio de la rosca:* Ausencia de una parte del valle en el verdadero inicio de la rosca o en el bisel de una rosca causada por des-alineamiento del eje de la rosca con el eje del bisel o por irregularidades del bisel. Ver Figura 27.



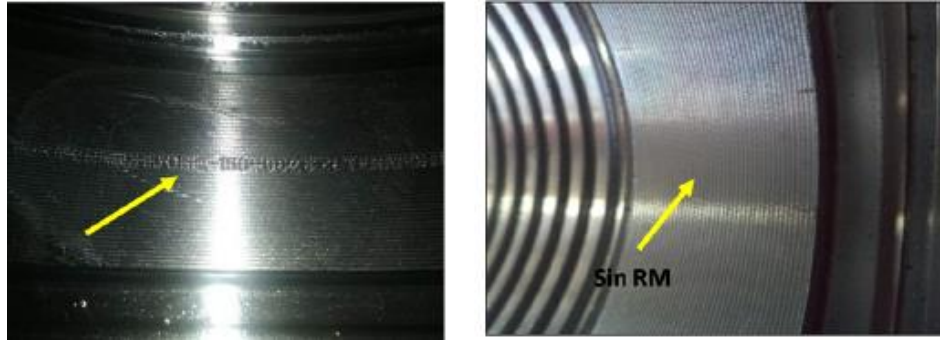
*Figura 27 Cupla con Interrupción en el inicio de la rosca*

- *Desgarrada o rasgada:* Superficie de la rosca que tiene partes que están cortadas, ásperas o rasgadas. Ver Figura 28.



*Figura 28 Cupla Desgarrada o rasgada*

- *Roller marker superpuesto y/o no completo:* Ausencia o sobre posición de la leyenda mecanizada en el cinturón del acople TXP. Ver Figura 29.



*Figura 29 Cupla Roller con marker superpuesto y/o no completo*

- *Lamina en área J*: Parte metálica como alambre, desprendida de la superficie de rosca y que puede quedar pegada o adherida a la parte maquinada en un extremo. Ver Figura 30.



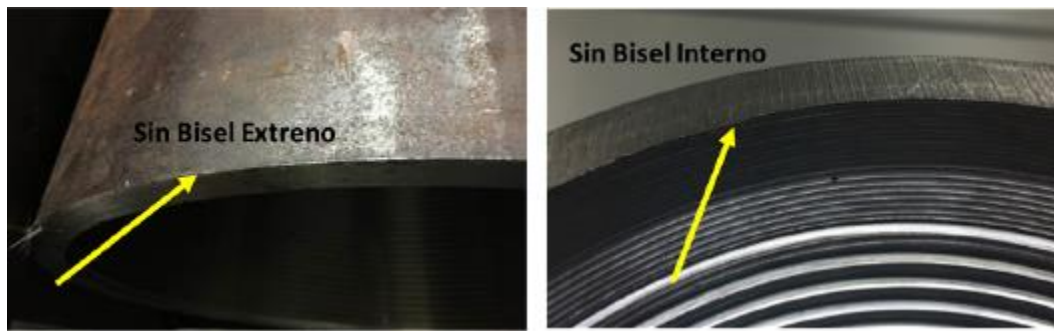
*Figura 30 Cupla con Lámina en área J*

- *Escalón en bisel/OD*: En la intersección del bisel externo con el OD se genera un escalón o protuberancia. Ver Figura 31.



*Figura 31 Cupla con Escalón en bisel/OD*

- *Cupla sin bisel externo/interno.* Ver Figura 32



*Figura 32 Cupla sin bisel externo/interno*

### *3.1.2.2. Recolección de datos*

La recolección de datos se obtuvo a través del programa de calidad que Tenaris TuboCaribe tiene implementado para el registro de la producción y descartes de piezas por defectos en proceso, esta herramienta se usa para el control y seguimiento del producto No Conforme. De este programa se tomaron los resultados obtenidos durante el periodo BDG 17-18, comprendido entre Julio 2017 y junio 2018, referente a la generación de productos defectuosos en el proceso de roscado de cuplas. La información es ingresada al programa por los operarios inspectores de rosca, verificadores de control y/o supervisores de producción, mediante los controles realizados durante el proceso.

La información registrada clasifica la cantidad de piezas descartadas diarias por tipo de producto, turno, máquina, operario, tipo de defecto y que disposición se realizó con la pieza defectuosa si se realizó reproceso o si se descartó como chatarra, para el problema en cuestión no fue necesario tomar una muestra, porque no se realizaron inferencias con respecto a parámetros ni comportamientos de variables. La información histórica que se tuvo, fue suficiente para ser analizada y tomar directrices para la solución del problema.



### 3.1.2.3. Variables críticas

Dentro de la información relevada, la variable de interés o dependiente es el número de productos defectuosos, mientras que las variables independientes son categóricas, es decir, son de tipo cualitativas, las cuales para este caso son:

- Tipo de máquina
- Tipo de defecto
- Turno
- Empleado

Se realizaron tres diagramas de Pareto de cantidad de piezas defectuosas generadas según el tipo de producto roscado, la máquina donde se roscó y el tipo de defecto presentado en la pieza rechazada, con el fin de escoger aquéllos productos, máquinas y tipos de defectos más críticos y con estos proceder a realizar un análisis de varianza para la etapa de análisis.

Los diagramas de Pareto son los siguientes:

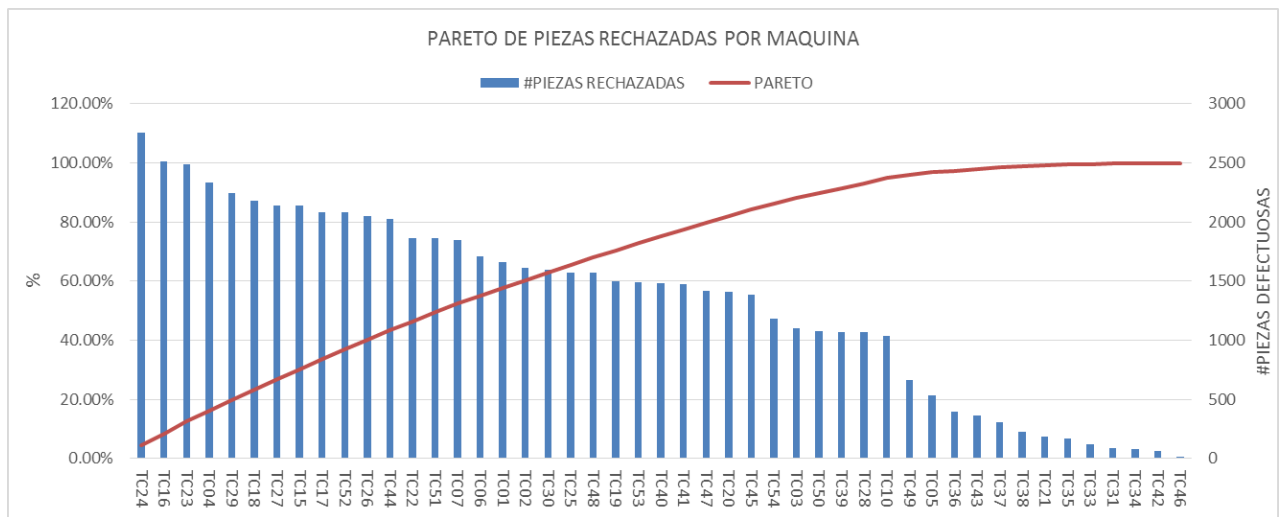


Figura 33 Pareto de número de piezas defectuosas por máquina

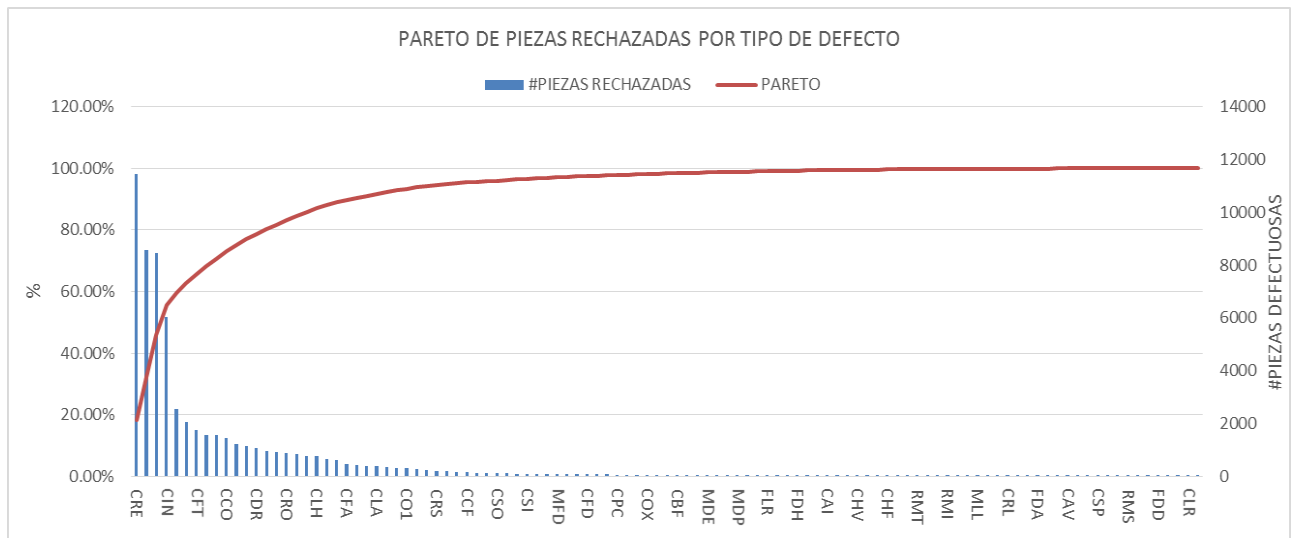


Figura 34 Pareto de número de piezas defectuosas por tipo de defecto. [1]



Figura 35 Pareto de número de piezas defectuosas por tipo de producto

De acuerdo a los diagramas de Pareto las máquinas críticas son las siguientes:

[1] *Nota:* Para presentación del gráfico se abreviaron los tipos de defecto con códigos de letras y/o números.

Tabla 8 Pareto de piezas rechazadas por máquina.

MAQUINA	#PIEZAS RECHAZADAS	%RECHAZO ACUMULADO
TC24	2755	4.43%
TC16	2510	8.46%
TC23	2487	12.46%
TC04	2332	16.21%
TC29	2245	19.82%
TC18	2179	23.32%
TC27	2143	26.76%
TC15	2136	30.19%
TC17	2085	33.55%
TC52	2085	36.90%
TC26	2054	40.20%
TC44	2025	43.45%
TC22	1867	46.45%
TC51	1865	49.45%
TC07	1847	52.42%
TC06	1710	55.17%
TC01	1657	57.83%
TC02	1615	60.43%
TC30	1594	62.99%
TC25	1570	65.51%
TC48	1568	68.03%
TC19	1495	70.43%
TC53	1488	72.83%
TC40	1486	75.21%
TC41	1476	77.59%
TC47	1420	79.87%

En la tabla anterior (tabla 8), se observan las máquinas seleccionadas como Pareto, es decir son el 20% de las máquinas que ocasionan aproximadamente el 80% de las piezas rechazadas en el proceso de roscado.

Los defectos críticos son los siguientes:

*Tabla 9 Pareto de piezas rechazadas por tipo de defecto.*

CÓDIGO DEFECTO	#PIEZAS RECHAZADAS	%RECHAZO ACUMULADO	TIPO DE DEFECTO
CRE	11460	18.42%	COPLE ROSCA ESCALONADA
CRV	8558	32.17%	COPLE ROSCA VIBRADA
CPD	8467	45.78%	COPLE FUERA DE DIAM PITCH
CIN	6045	55.50%	COPLE ROSCA INCOMPLETA
CPP	2544	59.59%	COPLE PUESTA A PUNTO
CDI	2066	62.91%	COPLE FUERA DE DIAM INT.
CFT	1741	65.70%	COPLE FUERA DE TIRO
CRR	1558	68.21%	COPLE ROSCA CON REBABA
FFE	1553	70.70%	COP FUERA FASE ENTRE LADO
CCO	1465	73.06%	COPLE CORTO
CFO	1232	75.04%	COPLE FUERA DE RUN OUT
CFP	1160	76.90%	COPLE FUERA DE PASO
CDR	1083	78.64%	COPLE F.DIAM. DE RANURA
COP	957	80.18%	COPLE NO PASO COMP.OPTICO

En la tabla anterior (tabla 9), se observan los tipos de defectos seleccionados como Pareto, es decir son el 20% de los tipos de defectos asociados aproximadamente al 80% de las piezas rechazadas en el proceso de roscado.

Los productos críticos son los siguientes:

*Tabla 10 Pareto de piezas rechazadas por tipo de producto.*

TIPO DE PRODUCTO	#PIEZAS RECHAZADAS	%RECHAZO ACUMULADO
PREMIUM	37757	60.68%
API	10375	77.36%

En la tabla anterior (tabla 10), se observan los tipos de producto seleccionados como Pareto, es decir son el 20% de los tipos de productos en los que se presentan aproximadamente el 80% de las piezas rechazadas en el proceso de roscado.

#### *3.1.2.4. Nivel Sigma*

De acuerdo con los resultados del inciso anterior, se tiene una reducción de datos que permitirá un análisis más acertado de las variables que están afectando el proceso. Para este inciso, es necesario que se observen cuáles fueron las cantidades de productos defectuosos por las variables críticas que se encontraron previamente, con el fin de conocer cuál es el nivel sigma del proceso, y así poder establecer el nivel sigma deseado, posterior a la aplicación de las herramientas de la metodología seis sigma.

De acuerdo a los diagramas de Pareto observados en el punto anterior, se tiene que los productos críticos son los API y Premium, pues como se observa en la tabla 4, representan el 20% de los productos, a los cuales se asocian aproximadamente el 80% de las piezas rechazadas en el proceso de roscado, de esta manera se procedió a organizar la información, teniendo en cuenta cuales de las máquinas consideradas como críticas procesaron estos productos, determinando las maquinas más críticas para cada tipo de producto, en dichas máquinas, se determinó que operarios estuvieron trabajando en ellas y cuáles son los defectos que más se presentaron, con el fin de reducir la cantidad de máquinas a analizar, pero garantizando que el plan propuesto por el proyecto tenga el mayor impacto posible en el problema. De esta manera se obtuvieron las siguientes tablas:

Tabla 11 Pareto de rechazos por máquinas que procesaron roscas API.

API		
MAQUINA	# PIEZAS RECHAZADAS	%RECHAZOS ACUMULADO
TC41	1406	22.46%
TC06	1181	41.33%
TC53	1127	59.33%
TC29	1001	75.32%
TC07	519	83.61%
TC15	232	87.32%
TC01	230	90.99%
TC48	136	93.16%
TC18	115	95.00%
TC02	99	96.58%
TC47	97	98.13%
TC17	80	99.41%
TC19	18	99.70%
TC40	17	99.97%
TC16	1	99.98%
TC51	1	100.00%
<b>TOTAL</b>	<b>6260</b>	

En la tabla anterior (tabla 11), se resaltan en azul las 5 máquinas que procesaron API y que en ellas se presentaron aproximadamente el 80% de los rechazos de los productos API, por esto se considera a estas máquinas como críticas para estos productos.

Tabla 12 Pareto de rechazos por máquinas que procesaron roscas PREMIUM.

PREMIUM		
MAQUINA	# PIEZAS RECHAZADAS	%RECHAZOS ACUMULADO
TC16	2299	7.22%
TC52	2085	13.78%
TC44	2020	20.12%
TC17	1915	26.14%
TC15	1904	32.12%
TC51	1864	37.98%
TC18	1815	43.68%
TC30	1594	48.69%
TC40	1342	52.91%
TC48	1335	57.10%
TC04	1301	61.19%
TC22	1297	65.27%
TC47	1274	69.27%
TC01	1256	73.22%
TC29	1244	77.12%
TC02	1241	81.02%
TC23	1190	84.76%
TC24	1136	88.33%
TC19	923	91.23%
TC26	806	93.77%
TC27	803	96.29%
TC25	475	97.78%
TC53	361	98.92%
TC06	308	99.88%
TC41	37	100.00%
<b>TOTAL</b>	<b>31825</b>	

En la tabla anterior (tabla 12), se resaltan en azul las 16 máquinas que procesaron productos PREMIUM y en las cuales se presentaron aproximadamente el 80% de los rechazos de los productos PREMIUM, por esto se considera a estas máquinas como críticas para estos productos.

Tabla 13 Defectos más presentados en las máquinas más críticas que procesaron productos API

ROSCAS API					
TC41		TC41		TC41	
TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS
CRE	348	CIN	302	CRV	253
CRV	240	CRV	278	CRE	182
CIN	147	CRE	114	CFT	143
CFT	136	CFT	104	CIN	97
CPP	128				

TC29		TC07	
TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS
CFT	458	CRV	148
CRE	129	CRE	79
CPD	97	CIN	68
		CFT	39
		CPD	38

En la tabla anterior (tabla 13), se presentan los tipos de defectos más presentados en las máquinas escogidas como críticas para los productos API, para este caso, los tipos de defectos se nombran mediante un código de letras para presentación de las tablas, este es el código con el cual se registran en el sistema de calidad de la empresa.



Tabla 14 Defectos más presentados en las máquinas más críticas que procesaron productos PREMIUM. Por presentación de la tabla, se identifica los tipos de defecto por su código y no su nombre completo.

ROSCAS PREMIUM							
TC16		TC52		TC51		TC15	
TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS
CRE	475	CRE	570	CRE	631	CRE	417
CIN	417	CPD	333	CRV	304	CRV	361
CPD	317	CIN	309	CPD	268	CPD	322
CRV	294	CRV	225	CIN	176	CIN	209
				CRR	105	CPP	107
TC44		TC18		TC17		TC30	
TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS
CRE	435	CRE	389	CRE	342	CPD	381
CPD	397	CPD	345	CPD	308	CRE	368
CIN	167	CRV	197	CRV	211	CRV	258
COP	141	CIN	147	CIN	170	CIN	172
CRV	129	CFP	146	CRR	157		
CDI	113						
TC40		TC29		TC48		TC04	
TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS
CRE	286	CDI	411	CRE	259	CRE	266
CPD	253	CFP	234	CRV	174	CPD	221
CRV	225	CRE	221	CPD	172	CRV	187
CIN	163	CPD	121	CCO	145	CIN	111
				CDI	114		
TC22		TC47		TC02		TC01	
TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS	TIPO DE DEFECTO	# PIEZAS RECHAZADAS
CRE	307	CRE	218	CRE	233	CPD	195
CPD	189	CPD	208	CPD	226	CRE	147
CRV	171	CIN	155	CRV	132	CRR	128
CIN	85	CFP	146			CRV	103

En la tabla anterior (tabla 14), se presentan los tipos de defectos más presentados en las máquinas escogidas como críticas para los productos PREMIUM, para este caso, los tipos de defectos se nombran mediante un código de letras para la presentación de las tablas, este es el código con el cual se registran en el sistema de calidad de la empresa.

Además de estas tablas, se identificó un listado de operarios, los cuales concentran la mayor parte de los rechazos de los productos API y PREMIUM, esta tabla consta de 87 personas en el caso de los productos PREMIUM y 54 para los productos API, cabe anotar que en el caso de los productos API, los mismos operarios aparecen también en el listado de productos PREMIUM, esta tabla se encuentra en la sección de Anexos. Ver Anexo 1.

Como primer paso para hallar el nivel sigma deseado, se calcularon la media y la varianza de la variable dependiente mediante Microsoft Excel, obteniendo que la media de los datos es 1,988 y la varianza es de 30,06.

Para el cálculo del nivel sigma actual del proceso, se debe identificar los datos de número de oportunidades de defecto (O), la cantidad de defectos presentados en la muestra de datos tomada (D) y el total de unidades que conforman la muestra estudiada (U). De acuerdo a la sección 3.1.2.1. *Tipos de defectos e imperfecciones en cuplas*, se tiene que cada cupla puede presentar 19 tipos de defectos, es decir 19 oportunidades de defecto por unidad, para el caso del número de defectos, se cuentan defectos presentados en la muestra, no unidades defectuosas, posteriormente se utilizan las siguientes fórmulas:

$$DPMO = \frac{1.000.000 * D}{U * O}$$

$$DPO = \frac{D}{U * O}$$

$$Yield = (1 - DPO) * 100$$

Dónde:

DPMO: Defectos por millón de oportunidad.

DPO: Defectos por oportunidad.

Yield: Desempeño o eficiencia del proceso.

D: Número de defectos presentados en la muestra.

U: Unidades producidas.

O: Oportunidades de defectos por unidad.

Posteriormente se procede a ingresar a una tabla de conversión de datos Sigma, ingresando con el desempeño del proceso hallado y se determina el nivel sigma del proceso.

La metodología seis sigma consiste en realizar mejoras en el proceso, con el fin de cumplir la voz del cliente, la cual se lleva a términos del nivel sigma deseado, en este caso, la voz del cliente la representa la especificación de porcentaje de rechazo establecido por la empresa como objetivo el cual para cuplas es del 2.2%, teniendo en cuenta la muestra tomada de 1.674.368 unidades, se tiene que se debía obtener 36.836 defectos, de esta forma se obtuvo el nivel sigma deseado. En la siguiente tabla (tabla 15), se observa el comparativo entre el nivel sigma real del proceso y el exigido por la empresa.

*Tabla 15 Comparativo sigma real del proceso vs sigma exigido por la empresa.*

	REAL PROCESO	EXIGIDO POR LA EMPRESA
<b>UNIDADES (U)</b>	1674368	1674368
<b>RECHAZO (%)</b>	3.70%	2.20%
<b>DEFECTOS (D)</b>	62220	36836
<b>OPORTUNIDADES DE DEFECTO (O)</b>	19	19
<b>DPMO</b>	1956	1158
<b>YIELD (%)</b>	99.80%	99.88%
<b>NIVEL SIGMA</b>	4	5

### **3.1.3. Analizar**

En esta fase se efectuó el análisis de los datos obtenidos en la etapa de medición, con el propósito de conocer las relaciones causales o causas raíz del problema, como paso anterior, se buscó la manera de agrupar los datos, con el fin de facilitar los análisis que se debían realizar. Las herramientas empleadas en esta sección fueron: Para la agrupación de los datos un análisis de varianza ANOVA multifactorial y simple, para los análisis de causa raíz, se realizaron análisis de valor añadido, análisis de causa y efecto y los 5 por qué.

Esta sección inicia con el desarrollo de análisis de varianzas de la variable de interés para el proyecto, en función de otros factores que podrían impactar en ella, así se determinó un factor base para iniciar la agrupación de los datos, al finalizar esta etapa se formaron grupos de datos

para facilitar los análisis de causa raíz realizados. La sección finaliza con la definición del nivel Sigma del proceso actual y el nivel Sigma deseado.

### 3.1.3.1. Análisis de Varianza ANOVA multifactorial

A partir de los datos obtenidos, se ejecutó un análisis de varianza de un factor (No. De piezas rechazadas), utilizando el software Statgraphics, en el cual se desea conocer si las variables inmersas en el proceso de roscado de cuplas tienen alguna diferencia en sus medias, con el fin de realizar una agrupación de datos similares, teniendo en cuenta las variables independientes definidas en las secciones anteriores.

Para el caso en estudio se tiene:

- Variable estudiada: Cantidad de piezas defectuosas.
- Factores críticos: Máquinas, turnos, tipo de defecto, operario, producto.

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para la variable estudiada. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la variable estudiada. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA permiten identificar las variables externas significativas.

*Tabla 16 Análisis de Varianza para Cantidad - Suma de Cuadrados Tipo III. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Máquinas	1541.24	19	811181	4.58	0.0000
B:Turnos	589002	2	294501	1.66	0.1896
D:Tipo de defecto	1280.07	10	128007	7.23	0.0000
E:Operario	20544.6	231	889375	5.02	0.0000
F:Producto	123103	1	123103	0.7	0.4044
RESIDUOS	232720	13142	177081		
TOTAL (CORREGIDO)	296743	13406			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de la variable estudiada en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión),

la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P, que se observan en la tabla 16, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 4 valores-P son menores que 0.05, se afirma que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la variable estudiada con un 95,0% de nivel de confianza.

De acuerdo a este resultado, se afirma que los factores máquinas, tipo de defecto y operario, tienen realmente un efecto estadísticamente significativo en la cantidad de piezas defectuosas generadas en el proceso de roscado.

### *3.1.3.2. Análisis de varianza ANOVA simple por Maquinas*

Cómo se observó en el punto anterior, 3 de los factores analizados tienen el mismo peso estadístico sobre el número de rechazos generados y se no es posible escoger uno como principal, se tomó la decisión de escoger la máquina como factor principal debido a que en la planta, se tiene mejor trazabilidad de los datos a través de las máquinas y se facilita analizar las causas raíz de los problemas por máquina más que por cualquier otro factor, por lo que se repitió el análisis de varianza, pero tomando como factor único las máquinas, con el fin de determinar grupos de máquina que tengan un comportamiento similar y facilitar los análisis de causa raíz que se van a realizar.

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para la variable estudiada. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de la variable estudiada para los 20 diferentes niveles de Maquinas. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla 17 Resumen Estadístico para Cantidad

Maquinas	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
TC01	583	160206	244446	152583%	1.0	53.0	52.0
TC02	606	161716	162174	100283%	1.0	30.0	29.0
TC04	603	170315	257314	151081%	1.0	56.0	55.0
TC06	537	217877	304409	139716%	1.0	47.0	46.0
TC07	204	213725	205366	960887%	1.0	18.0	17.0
TC15	947	182471	137975	756146%	1.0	13.0	12.0
TC16	935	185668	32578	175463%	1.0	62.0	61.0
TC17	862	170882	193564	113274%	1.0	40.0	39.0
TC18	825	18897	332338	175868%	1.0	62.0	61.0
TC22	578	174567	177583	101728%	1.0	25.0	24.0
TC29	582	352749	188464	534271%	1.0	384.0	383.0
TC30	690	196667	244897	124524%	1.0	31.0	30.0
TC40	643	183515	22605	123178%	1.0	34.0	33.0
TC41	532	231391	268517	116045%	1.0	30.0	29.0
TC44	899	1703	234964	137971%	1.0	36.0	35.0
TC47	526	202852	301127	148447%	1.0	60.0	59.0
TC48	643	184914	273502	147907%	1.0	41.0	40.0
TC51	746	223324	399587	178927%	1.0	64.0	63.0
TC52	952	177521	221881	124989%	1.0	44.0	43.0
TC53	514	234047	319399	136468%	1.0	36.0	35.0
<b>Total</b>	<b>13407</b>	<b>195562</b>	<b>470479</b>	<b>240578%</b>	<b>1.0</b>	<b>384.0</b>	<b>383.0</b>

La tabla anterior (tabla 17) muestra diferentes estadísticos de la variable estudiada para cada uno de los 20 niveles de Maquinas. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados en esta tabla, bajo la columna de Promedio.

Tabla 18 Tabla ANOVA para Cantidad por Maquinas.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2068.92	19	108891	4.95	0.0000
Intra grupos	294674	13387	220119		
Total (Corr.)	296743	13406			

La tabla anterior (tabla 18) descompone la varianza de cantidad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 4.95, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos.

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la variable estudiada entre un nivel de Máquinas y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

*Tabla 19 Pruebas de Múltiple Rangos para Cantidad por Maquinas*

Maquinas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TC01	583	160.206	X
TC02	606	161.716	X
TC44	899	1.703	XX
TC04	603	170.315	XX
TC17	862	170.882	XX
TC22	578	174.567	XXX
TC52	952	177.521	XX
TC15	947	182.471	XXXX
TC40	643	183.515	XXXXX
TC48	643	184.914	XXXXX
TC16	935	185.668	XXXXX
TC18	825	18.897	XXXXX
TC30	690	196.667	XXXXX
TC47	526	202.852	XXXXX
TC07	204	213.725	XXXXX
TC06	537	217.877	XXXX
TC51	746	223.324	XXX
TC41	532	231.391	XX
TC53	514	234.047	X
TC29	582	352.749	X

En la tabla anterior (tabla 19), se observa el resultado de la prueba de múltiples rangos para la cantidad de máquinas. Esta tabla es importante para poder agrupar las maquinas según la similitud entre sus medias y la homogeneidad que se puede obtener observando la posición de las “X” en la columna “Grupos Homogéneos”. La posición de las “X” se debe observar de manera vertical, tal como se aprecia con las líneas guías de ejemplo de color rojo y verde en la tabla.

Teniendo en cuenta esto, se armaron grupos de máquinas similares para realizar los análisis de causa raíz y así proponer las acciones de mejora del plan de acción, de esta manera, los grupos conformados son los que se observan en la tabla 20

Tabla 20 Tabla de grupos de máquinas conformados para realizar análisis de causa raíz, de acuerdo a análisis de varianzas realizado.

Grupo	Maquinas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
<b>Grupo 1</b>	TC01	583	160.206	x
	TC02	606	161.716	x
	TC16	935	185.668	xxxxx
	TC04	603	170.315	xx
	TC17	862	170.882	xx
	TC22	578	174.567	xxx
	TC18	825	18.897	xxxxx
	TC15	947	182.471	xxxx
<b>Grupo 2</b>	TC52	952	177.521	xx
	TC44	899	1.703	xx
	TC40	643	183.515	xxxxx
	TC48	643	184.914	xxxxx
	TC30	690	196.667	xxxxx
	TC47	526	202.852	xxxxx
<b>Grupo 3</b>	TC07	204	213.725	xxxxx
	TC06	537	217.877	xxxx
	TC51	746	223.324	xxx
	TC41	532	231.391	xx
	TC53	514	234.047	x
<b>Grupo 4</b>	TC29	582	352.749	x

### 3.1.3.3. Análisis 5 ¿Porque?

El análisis de los 5 ¿porque? es una herramienta que permite determinar las posibles causas de un problema, para este caso, se utilizó para analizar las causas de los datos que arrojo el análisis Pareto, definido en la etapa de medición; el objetivo principal es proponer acciones de mejora que al ejecutarlas reducirán la generación de producto no conforme en el proceso.

En esta sección se presentan los análisis 5 ¿Por qué? Realizados para hallar las causas raíces de la generación de piezas defectuosas en los 4 grupos de máquina conformados en la sección anterior, se hace de esta manera pues sería muy complejo plantear un plan de mejora para solucionar los problemas que se presentan en todas las máquinas roscadoras analizándolas de forma independiente.



Para el desarrollo de este análisis se recopiló la información que la empresa tiene de las investigaciones que han implementado en su ruta de mejoramiento, además de entrevistas con personal operativo, supervisores de producción y coordinadores de producción. El procedimiento interno establece que el personal de aseguramiento de calidad cuando emite e identifica una no conformidad, debe realizar un análisis de causa raíz en equipo con el operador y el supervisor del área de producción, este debe quedar registrado en el portal de aseguramiento de la calidad, con el fin de hacer seguimiento a las acciones planteadas. El resultado final del análisis 5 ¿Por qué?, son las causas raíz que generan productos no conformes y el planteamiento de la posible acción de mejora para las mismas.

Como resultado de la organización en grupos de máquina con comportamiento similar realizada en la sección 3.1.3.2. Análisis de varianza ANOVA simple por Maquinas, se realizó revisión de los tipos de defectos que más se presentan en dichas máquinas, con el fin de direccionar los análisis 5 ¿por qué? De esta forma, la cantidad de piezas rechazadas (columna “Cantidad” Tabla 21) por cada tipo de defecto presentado en cada grupo de máquina son los siguientes:

*Tabla 21 Tipos de defectos por código que más se presentan en los grupos de máquina organizados en la sección 3.1.3.2.*

GRUPO 1			GRUPO 2		
CODIGO	NOMBRE	CANTIDAD	CODIGO	NOMBRE	CANTIDAD
CRE	COPLE ROSCA ESCALONADA	3472	CRE	COPLE ROSCA ESCALONADA	1625
CPD	COPLE FUERA DE DIAM PITCH	2785	CPD	COPLE FUERA DE DIAM PITCH	1458
CRV	COPLE ROSCA VIBRADA	2380	CRV	COPLE ROSCA VIBRADA	1099
CIN	COPLE ROSCA INCOMPLETA	1899	CIN	COPLE ROSCA INCOMPLETA	795
CRR	COPLE ROSCA CON REBABA	702	CFP	COPLE FUERA DE PASO	394
GRUPO 3			GRUPO 4		
CODIGO	NOMBRE	CANTIDAD	CODIGO	NOMBRE	CANTIDAD
CRV	COPLE ROSCA VIBRADA	1827	CFT	COPLE FUERA DE TIRO	458
CRE	COPLE ROSCA ESCALONADA	1719	CDI	COPLE FUERA DE DIAM INT.	418
CIN	COPLE ROSCA INCOMPLETA	1137	CRE	COPLE ROSCA ESCALONADA	350
CPD	COPLE FUERA DE DIAM PITCH	812	CFP	COPLE FUERA DE PASO	236
CFT	COPLE FUERA DE TIRO	548	CPD	COPLE FUERA DE DIAM PITCH	218

Para direccionar correctamente los análisis de causa raíz a realizar, se hizo una descripción cualitativa de las características en común que tienen las máquinas que conforman cada grupo de máquinas, abarcando factores como tipo de cuplas que procesan (API o PREMIUM), que diámetros pueden roscar, que tipo de herramienta porta-insertos utilizan y como es la refrigeración que utilizan. Se definieron estas características, pues se considera que pueden influir en la generación de descartes o rechazos.

**Grupo 1:** Son máquinas con capacidad para procesar cuplas de diámetro grande ( $6 \frac{5}{8}$ ", 7",  $7 \frac{5}{8}$ " y  $9 \frac{5}{8}$ "), utilizan herramientas porta-insertos pesadas, de 2.5" de diámetro, en su mayoría procesaron productos PREMIUM, todas estas máquinas utilizan refrigeración en localizada, es decir cada torno maneja una concentración de refrigerante diferente y presiones diferentes.

**Grupo 2:** Son tornos pequeños, utilizan herramientas porta-insertos más livianas en comparación al Grupo 1, de 2" de diámetro, se especializan en procesar diámetros pequeños (máximo  $5 \frac{1}{2}$ "), se especializan en procesar productos PREMIUM, por último, utilizan un sistema de refrigeración centralizado, es decir, todas las máquinas tienen la misma concentración de refrigerante y manejan la misma presión.

**Grupo 3:** Lo conforman tornos especializados en procesar productos API, en su mayoría fabrican cuplas de diámetro pequeño (menores a  $4 \frac{1}{2}$ ").

**Grupo 4:** Lo conforma la máquina TC29, en su mayoría procesó productos API de diámetro pequeño ( $4 \frac{1}{2}$ ",  $3 \frac{1}{2}$ " y  $2 \frac{7}{8}$ ") y procesó productos PREMIUM de diámetro mediano ( $5 \frac{1}{2}$ " y  $4 \frac{1}{2}$ "), esta máquina presentó problemas durante gran parte del año por desajustes en la torreta, ocasionados por choques de herramienta continuos contra la cupla, los cuales se produjeron por mala operación de la máquina.

Como se observa en la tabla anterior (Tabla 21), los grupos 1 y 2 tienen básicamente los mismos tipos de defecto y procesan productos similares. Se organizaron inicialmente en grupos diferentes porque tienen características herramientas diferentes, pero al revisar la información, se observa que no hay una diferencia significativa en los rechazos generados, por lo que se

realizó un análisis de causa 5 ¿Por qué? Conjunto para ambos grupos. En los Anexos, se pueden apreciar de mejor manera las tablas donde se tienen los análisis a cada uno de los grupos mencionados.

A partir del análisis de los grupos 1 y 2 (ver tabla en Anexos), se puede concluir que la mayor parte de los problemas se enfocan en fallas en el herramental de trabajo que a la larga culminan en falta de capacitación y conocimiento del personal técnico y operativo en materia de inspección de herramientas, también hace falta actualizar procedimientos e incluir actividades que antes no se habían contemplado.

El análisis de causa raíz del grupo 3 (ver tabla en Anexos), es similar a los del grupo 1 y 2. Se diferencia en el defecto de acople fuera de tiro, pues es un defecto propio de los productos API, en este caso se evidencia un desconocimiento de estándares de rendimiento de insumos básicos de proceso.

Para el caso del torno 29 (ver tabla en Anexos), el mayor impacto de los rechazos se genera por 2 eventos de choque de herramienta con la cupla y mordazas de la máquina, lo cual ocasionó un desajuste general de la máquina que generó una gran cantidad de rechazos, los demás defectos presentados en esta máquina están relacionados a las causas explicadas en los análisis de las demás máquinas.

#### *3.1.3.4. Análisis de causa y efecto*

Una de las herramientas para la resolución de problemas es la aplicación del diagrama de Causa y Efecto (Ishikawa), el cual permite direccionar las acciones de mejoramiento hacia las principales causas de las variables que están afectando el proceso.

Para la ejecución de estos diagramas se tomaron los resultados obtenidos en el análisis de los 5 ¿por qué? Y se realizaron reuniones con el equipo de trabajo, incluyendo a expertos del proceso como operarios de máquina y técnicos de la planta. Con esta información se definieron las tablas con la identificación de las posibles causas de los defectos presentados en los 3 grupos de máquina definidos.

Con la información obtenida de esas tablas ya mencionadas, se procedió a realizar el diagrama de causa y efecto para cada grupo de máquina.

Los pasos para la elaboración del diagrama fueron los siguientes:

1. Se enunció el problema o efecto que para cada grupo de máquinas es la generación de una no conformidad o defecto en la cupla y las causas principales que lo provocan, basándose principalmente en los tipos de defectos enunciados para cada grupo como se observa en la tabla 17.
2. Se definieron categorías que se consideraron apropiadas para clasificar las causas que generan no conformidades o defectos: Tecnología de proceso, máquinas, materiales, medición y personal.
3. Se realizó lluvia de ideas de las posibles causas.
4. Se comparó la información de la lluvia de ideas con los resultados del análisis de los 5 ¿por qué? y se determinaron las causas representativas y repetitivas de cada categoría.
5. Generar el diagrama de Ishikawa.

Para esta parte del proyecto se realizaron dos diagramas de Ishikawa, el primero que incluye a los grupos de máquina 1, 2 y 4, esto porque el grupo 4 lo conforma una máquina que en condiciones normales se debería comportar similar a las máquinas de los grupos 1 y 2, esto debido a que procesan productos similares y en cantidades similares, en la etapa del 5 ¿Por qué? Se analizó por separado pues el análisis de varianza arrojó que esta máquina se comportaba completamente diferente a las demás, pero al entrar a analizar el porqué, se encontró que este comportamiento se debió a que esta máquina tuvo un problema mecánico grave ocasionado por una colisión que sufrió, a partir de esto, se debe tener en cuenta incluir en el plan de mejora planteado este proyecto, una acción enfocada a atacar las colisiones de máquina pues influyen mucho en la generación de defectos.

En la sección de anexos, se podrán apreciar dos tablas, donde se explica de mejor manera una tabla con la identificación de causas de generación de defectos para el grupo de máquinas 1, 2 y 4 y otra tabla para el grupo 3 de máquinas.

A continuación, en las figuras 1 y 2, se presentan los diagramas de Ishikawa o espinas de pescado, los cuales son una forma gráfica de representar los análisis causales presentados en las tablas 21 y 22, se hace de esta manera para categorizar las causas raíz de los problemas, lo cual será de importancia para las siguientes secciones.

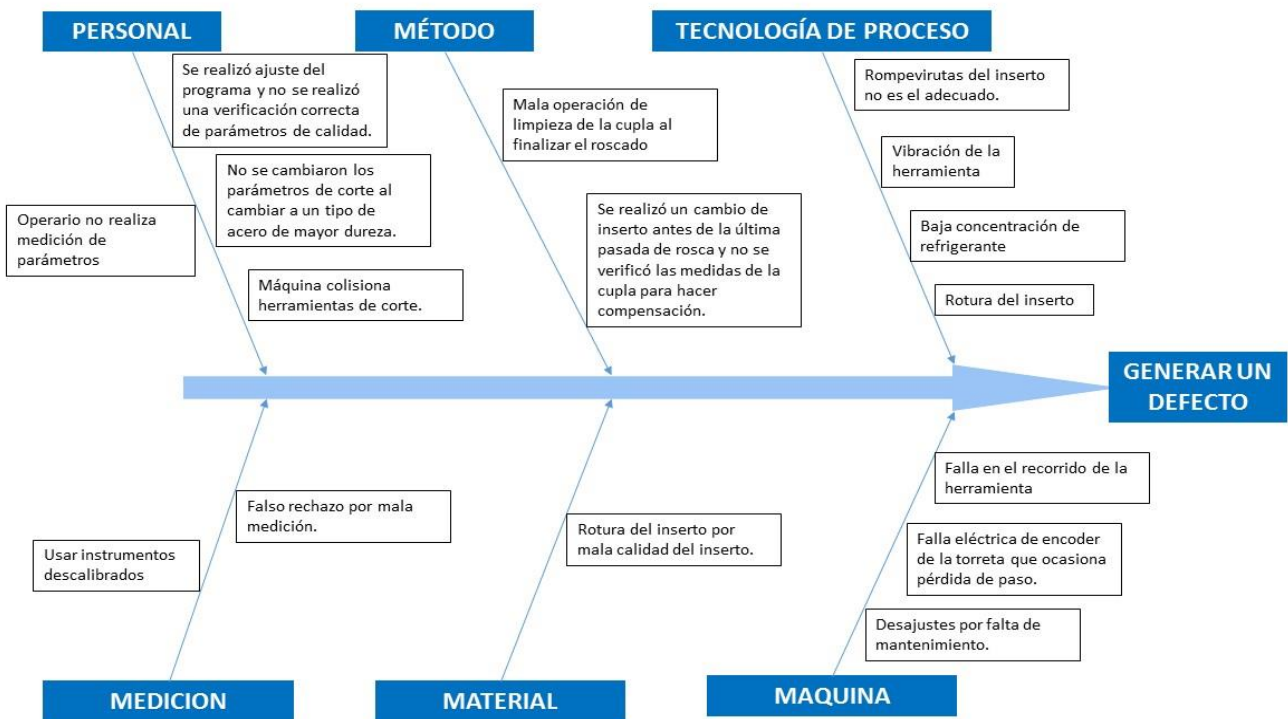


Figura 36 Diagrama Ishikawa para grupos de máquina 1, 2 y 4

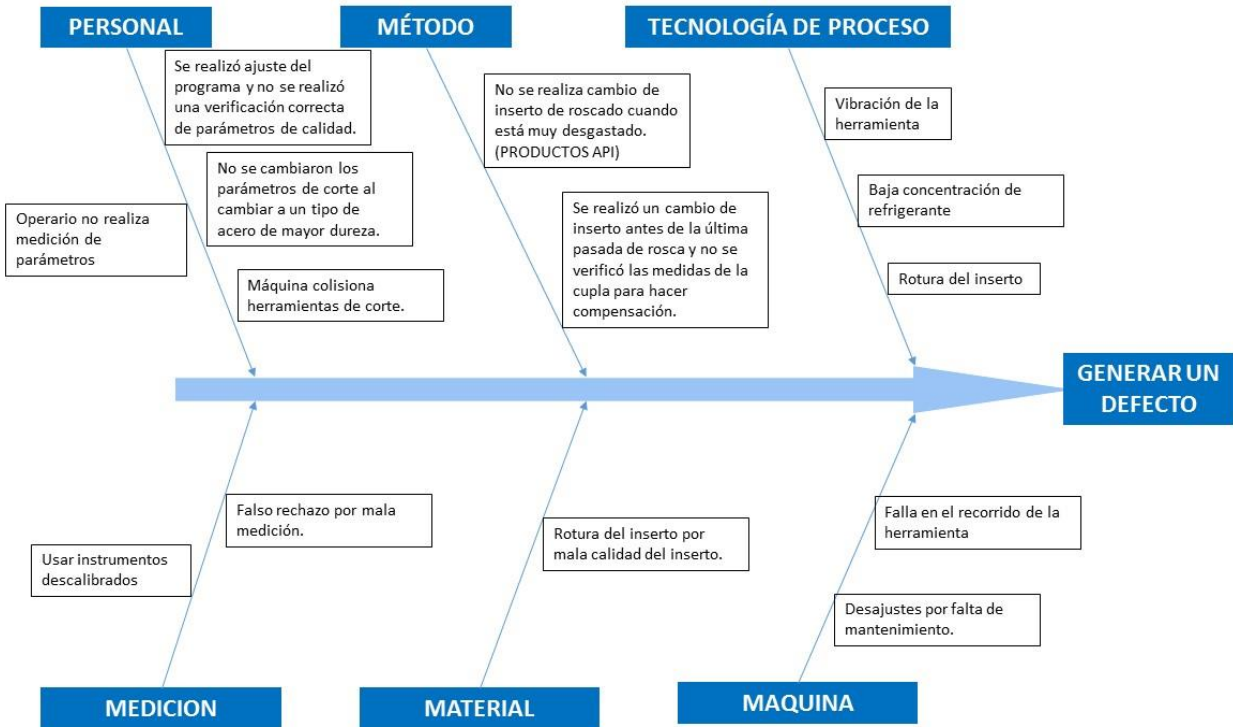


Figura 37 Diagrama Ishikawa para el grupo de máquinas 3

#### 3.1.3.4. Matriz de evaluación de causa y efecto

Una vez realizados los análisis de causa raíz (5 ¿por qué?) y los diagramas Ishikawa, se realizó un análisis de causa y efecto a través de una matriz de evaluación, que permite calificar numéricamente el impacto de cada causa identificada dentro del proceso, para luego priorizar de acuerdo al nivel de importancia. La aplicación y desarrollo de esta matriz de evaluación se realizó en colaboración con el equipo de trabajo y personal experto de la planta, teniendo en cuenta los criterios y conocimientos que ellos tienen sobre el proceso.

Los pasos para realizar esta etapa fueron los siguientes:

1. Determinación del efecto: De acuerdo al grupo de máquina, se determinó el efecto como una falla en el mismo, No conformidades: Rosca vibrada, diámetro pitch fuera de especificación, rosca incompleta, rosca escalonada, etc.

2. Especificación de causas potenciales: Se recopilaron las posibles causas obtenidas en los análisis 5 ¿por qué? y se realizó una lluvia de ideas con el equipo de trabajo.
3. Ponderación y decisión: Se realizó ponderación de las causas con un acuerdo de calificación en donde 1: No impacta, 3: impacto mínimo, 5: impacto mediano, 7 impacto significativo, 10 impacto total.
4. Decisión: Los puntajes más altos de cada variable por grupo de máquina, se les definieron dos prioridades 1 y 2. Esta asignación permite la selección de las causas raíz que se deberían priorizar en el planteamiento del plan de mejora, cabe anotar, que esto no es una camisa de fuerza y puede que los expertos del proceso decidan incluir acciones para corregir una causa que no sea escogida como prioridad 1 o 2.

En la matriz de evaluación de causa y efecto, la cual se encuentra en anexos, se puede apreciar que las personas consultadas les dan una gran importancia a las causas de generación de descartes asociadas a la capacitación del personal, además de las causas relacionadas a los planes de mantenimiento de las máquinas y las mejoras de la herramientas de trabajo.

#### *3.1.3.5. Análisis de valor agregado*

Como última etapa de la fase de análisis, se realizó un estudio descriptivo de las actividades operativas y administrativas del proceso de roscado con el fin de evaluar el estado actual, posteriormente se definieron cuales agregan o no valor significativo al proceso y deben ser utilizadas en el desarrollo de las siguientes etapas, este análisis sirve como una entrada para el planteamiento del plan de mejora, pues pueden surgir acciones como la mejora de un control o procedimiento ya existente en la planta. El análisis realizado, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 22 Análisis de valor añadido de actividades operativas y administrativas del proceso.

ANÁLISIS DE VALOR AÑADIDO					
Nombre del proceso:		Rosca de cuplas			
Actividad	Valor operacional añadido	Sin Valor añadido	Propuesta/Mejora	Tiempo	Mano de obra o recurso
1. Revisión de parámetros de operación del torno	X		Crear checklist de verificación de parámetros de operación del torno. Para verificar cada turno.	Cada inicio de turno	Operador
2. Definir el programa de producción		X	-	-	Programadores Supply chain
3. Divulgar programa de producción	X		Se debe compartir el plan de producción con todas las áreas involucradas, este plan debe contener información de la producción para la semana completa.	1 día	Supervisores producción/Operador líder
4. Cambios de operación o producto	X		Implementar checklist de arranque posterior a cambio de operación, que incluya verificación de apriete de tornillos de mordazas y condición de herramientas, para evitar rechazos por defectos.	Finalizado el cambio de herramientas	Operador
5. Proceso productivo, seguimiento y verificación de parámetros de calidad del producto.	X		Se tiene un formato en línea de control de producción y parámetros de calidad del producto, el sistema solicita la frecuencia de verificación especificada y si no se cumple, el torno se detiene.	-	Operador
6. Realizar análisis de causa raíz de los defectos o rechazos presentados.	X		Se realiza análisis de causa raíz para grandes cantidades de rechazos, pero no se deja registro de lecciones aprendidas o de estos análisis para realizar mejoras en el control de proceso.	Mensual	Líder de verificación y control
7. Mantenimiento de equipos.	X		El plan de reparaciones y mantenimiento de los equipos, se lanza mensualmente, pero es muy común que no se respete. Se debe realizar reuniones previas a los mantenimientos preventivos con las actividades a realizar, comunicando las actividades y tiempos.	Semanal	Supervisor de mantenimiento/Supervisor de producción.
8. Inspección	X		Se realizan verificaciones dirigidas a algunas máquinas, haciendo foco en productos nuevos, arranques y máquinas que han tenido problemas. Se debe enfocar más a hacer observaciones por fallas en el control, más no por cumplimiento de requisitos o reglas.	En línea	Verificador de calidad
9. Despacho		X	-	-	-



### *3.1.3.6. Resumen Analizar*

La fase Analizar permitió identificar las causas raíz que están generando el producto no conforme en los 4 grupos de máquinas definidos como críticas en el proceso de roscado de cuplas en Tenaris TuboCaribe, a través de esta fase se identificó lo siguiente:

- Los rechazos por No conformidades en el producto se concentran en los productos PREMIUM y API.
- Se logró identificar un grupo de 87 operarios que concentran más del 80% de la generación de producto no conforme, 54 de ellos generan no conformidades tanto en productos API como PREMIUM.
- Se analizó el comportamiento de la generación de rechazos en función de las variables, máquina, turno, operario, tipo de producto y tipo de defecto presentado, mediante un análisis de varianza, para determinar si alguna de estas variables independientes influía tenía mayor impacto en la generación de defectos. Se concluyó que todas impactan por igual.
- Se decidió agrupar los datos por máquinas y generar grupos de máquina que tengan comportamiento similar en términos de generación de rechazos, para facilitar los análisis, de allí surgieron cuatro grupos, el grupo 1 de máquinas que procesan PREMIUM de diámetro grande, el grupo 2 de máquinas que procesan PREMIUM de diámetro medio o pequeño, el grupo 3 de máquinas que procesan productos API y el grupo 4 de la máquina TC29 que tiene un comportamiento diferente a las demás.
- La máquina TC29 presentó un daño mecánico grave producto de una colisión del herramental por lo que presentó un comportamiento diferente a las demás, de no ser por esto su comportamiento debería ser similar a las del grupo 1 y 2.
- Las máquinas de los grupos 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar a pesar de que procesan diámetros diferentes, los tipos de defectos presentados en estas máquinas son muy similares.
- Para los productos PREMIUM, las causas principales de generación de defectos están relacionadas con la falta de mantenimiento, los errores operativos de medición o falta de control y problemas en el herramental de trabajo. Para los productos API la situación es

similar, cambia la importancia que se le da a cada factor, debido a que son roscas más sencillas. Se debe prestar especial atención a las colisiones de máquina, además.

### ***3.1.4. Mejorar***

En esta etapa de la metodología DMAIC se desarrollan, implementan y validan alternativas de mejora basadas en los análisis realizados en la etapa anterior. Para el caso de este proyecto, esta etapa consiste en el planteamiento de un plan de mejora para disminuir la generación de defectos causados por los factores mencionados anteriormente. Para realizar este plan, se tomó en cuenta las observaciones del equipo de proyecto, un líder del área de mantenimiento, un líder del área de producción, un líder del área de calidad y un líder del área de tecnología de proceso.

#### ***3.1.4.1. Plan de mejora***

Para el planteamiento del plan de mejora, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Identificar área de mejora: Este paso se realizó dentro de la metodología DMAIC, cuando en la etapa de Definir se estableció que la línea de roscado, cubre la mayor generación de rechazos por no conformidades en la fábrica de cuplas de Tenaris TuboCaribe.
- Organizar los datos para facilitar los análisis: Teniendo en cuenta la complejidad del sistema, conformado por 32 máquinas de roscado y que cada una tiene comportamiento aparentemente diferente, en la etapa de analizar se llevó a cabo un análisis de varianza para poder agrupar la información en conjuntos más pequeños y facilitar los análisis de causa raíz.
- Detectar las principales causas del problema: Esto se desarrolló dentro de la metodología DMAIC en la etapa de Analizar, utilizando las herramientas de espina de pescado (causa y efecto), diagramas de Pareto y 5 ¿por qué?
- Formular el objetivo: Una vez identificado el área de mejora y detectado las principales causas del problema, se formuló el objetivo. El objetivo se basa en los resultados obtenidos dentro de la metodología DMAIC en la etapa de Medir, donde se calculó el nivel sigma actual de la línea de roscado y el nivel sigma deseado, teniendo en cuenta los objetivos trazados por la compañía.

- **Seleccionar las acciones de mejora:** Para seleccionar las posibles alternativas de mejoras y posteriormente, priorizar las más adecuadas, se realizaron reuniones con el equipo de trabajo, implementando en estas la técnica de lluvia de ideas e identificando iniciativas propuestas anteriormente y que tuvieran cabida como solución a las causas de los defectos identificados.
- **Realizar una Planificación:** Del listado obtenido en el anterior paso, se realiza una priorización y se presentan las acciones que finalmente pueden ponerse en marcha e incluirlos en el plan de mejora. Los criterios de decisión utilizado para priorizar las acciones fueron: dificultad en la implementación (mucha, bastante, poca, ninguna), plazo de implementación (largo, medio, corto, inmediato) e Impacto en la organización (ninguno, poco, bastante, mucho).
- **Seguimiento al Plan de Mejora:** Se generó un cronograma de trabajo, con el listado de actividades, los plazos para la ejecución, los responsables de la ejecución y el seguimiento.

En la siguiente tabla, se encuentra el plan de mejora propuesto por el equipo de este proyecto.

Tabla 23 Plan de mejora propuesto.

ACCIONES	NO CONFORMIDAD	PERIODO DE EJECUCIÓN	RESPONSABLE	RESULTADO ESPERADO	INDICADOR	RESPONSABLE DEL SEGUIMIENTO
Realizar abordaje a operarios que conforman el top de generadores de piezas defectuosas, guiarse por tabla de Anexo 1.	TODAS	Ene/20/2019 - Feb/04/2019	Franklim López / Supervisores área roscado	Concientizar a los operarios del listado de que son los que más generan rechazos y crear compromisos de mejora. Documento charla firmado por el operario	# de operarios abordados /día (6 operarios diario)	Giancarlo Di Berardino Gerente Planta
Realizar ranking de operarios por cantidad de piezas defectuosas producidas por turno, para ser publicado en pantallas de la planta.	TODAS	Ene/07/2019 - Ene/14/2019	Franklim López / Supervisores área roscado	Generar dinámica de seguimiento de generación de rechazos para que el operario tenga retroalimentación constante de su desempeño en calidad.	El ranking debe ser visible diariamente y mostrar datos correspondiente al día anterior	Giancarlo Di Berardino Gerente Planta
Implementar lista de chequeo para verificar estado de tornillería y herramental de corte de cada máquina por turno. Labor realizada por herramentista.	COPLE ROSCA VIBRADA	Feb/20/2019 - Mar/04/2019	Juan Orozco	Documento con lista de chequeo donde se verifique estado general del herramental de cada torno, con una frecuencia de inspección definida.	$\frac{\#de\ piezas\ de\ herraje\ inspeccionado}{\#total\ de\ piezas\ de\ herraje} * 100$  >60%	Juan Fuentes Jefe de Herramientas y tecnología

Rediseñar cabezas porta-insertos para proceso de roscado Premium y API, con el fin de evitar mala posición entre rompe-virutas e inserto y atacar el problema de rotura de inserto.	COPLE ROSCA ESCALONADA	Dic/04/2018 - Ago/04/2019	Darwin Peña	Se encontró que existe un escalón en el alojamiento del inserto que ocasiona que el rompe-virutas esté descentrado respecto al peine, ocasionando sobrecarga y rotura prematura.	$\frac{\#de\ piezas\ cabezas\ cambiadas}{\#total\ de\ tornos\ API\ Y\ PREMIUM} * 100$ =100%	Amaury Salcedo Gerente Tecnología y Herramientas
Implementar guía de estándares de parámetros de corte para cada tipo de acero y tipo de rosca, incluir rutina de verificación de parámetros, con personal de tecnología, cada vez que se cambie de operación o cambio de tipo de acero.	COPLE ROSCA VIBRADA / COPLE FUERA DE DIAMETRO PITCH	Ene/20/2019 - Ene/27/2019	Víctor Puello/Franklin López	Disminución en cantidad de rechazos por rosca vibrada en productos API y PREMIUM después de realizar un cambio de operación o cambio de colada.	$\frac{piezas\ con\ rosca\ vibrada\ después\ de\ arranque}{\#total\ de\ piezas\ producidas} * 100$ <2.5%	José Jiménez Tecnólogo especialista en roscado
Realizar reentrenamiento en campo al personal inspector de rosca, para recordar la correcta aplicación de los procedimientos de inspección.	COPLE ROSCA ESCALONADA	Ene/20/2019 - Abr/04/2019	Franklin López / Supervisores área roscado	Disminución en cantidad de rechazos falsos por rosca escalonada. Sensibilizar al personal sobre la importancia de aplicar correctamente los procedimientos.	# de operarios abordados /día (8 operarios diario)	Giancarlo Di Berardino Gerente Planta

Elaborar plan de mantenimiento de instrumentos de medición a cargo de técnico herramentista, en el cual realice mantenimiento preventivo y correctivo	COPLE FUERA DE PASO	Ene/07/2019 - Mar/14/2019	Juan Orozco	Mejorar vida útil y precisión de los instrumentos de medición para evitar la generación de rechazos falsos.	$\frac{\# \text{ de instrumentos inspeccionados } x \text{ semana}}{\text{instrumentos programados inspeccion } x \text{ semana}} * 100$ =100%	Amaury Salcedo Gerente Tecnología y Herramientas
Implementar una guía/troubleshooting para el procedimiento de cambio de inserto, que incluya verificación de medidas de la cupla y guía para saber cuándo cambiar el inserto	COPLE FUERA DE DIAMETRO PITCH	Nov/20/2018 - Dic/04/2018	Víctor Puello	Brindarles las herramientas a los operarios para saber cuándo es el momento correcto para cambiar el inserto y estandarizar el proceso de cambio de inserto para evitar generar rechazos por un mal cambio de inserto.	Implementación diaria de la guía para cambio de inserto	José Jiménez Tecnólogo especialista en roscado
Crear grupo anticolidión de tornos para controlar las colisiones de torno y generar soluciones para evitarlas.	TODAS	Permanente	Juan Fuentes	Disminuir la estadística mensual de colisiones de torno (colisiones mensual promedio= 25)	#Colisiones de torno promedio mensual. <25	Amaury Salcedo Gerente Tecnología y Herramientas
Implementación de troqueles para tornos de desbaste.	COPLE FUERA DE DIAMETRO INTERNO	Dic/20/2018 - Ene/20/2019	Juan Fuentes	Mejorar la trazabilidad entre procesos internos y poder tomar acciones correctivas en el proceso previo al roscado.	# Operarios de desbaste con troquel. =100%	Giancarlo Di Berardino Gerente Planta

Bloquear acceso a modificación de programas CNC por turno, garantizando acceso solamente a equipo de técnicos de tecnología, dejar registro de última persona que realizó modificación del programa, con hora y fecha.	COPLE ROSCA INCOMPLETA	Nov/15/2018 - Nov/20/2018	Víctor Puello	Evitar que los operarios modifiquen los programas CNC.	Registro de modificaciones realizadas a los programas CNC.	José Jiménez Tecnólogo especialista en roscado
Formular e Implementar plan de mantenimiento preventivo y predictivo por parte del área de mantenimiento, que incluya los encoder de los tornos.	COPLE FUERA DE PASO	Feb/01/2019 - Mar/31/2019	Víctor Cabrera	Disminuir los eventos de falla de los encoder de los tornos.	$\text{Payback} \leq 1 \text{ año}$ $\frac{\text{T tiempo efectivo}}{\# \text{ de eventos}} \geq 7 \text{ días}$	Carlos Cubas Líder de mantenimiento FACU
Realizar y presentar Informe de mejora e implementaciones	TODOS	Junio 2018 - Enero 2019	Juan Orozco / Alex Visbal	Documentar proceso de mejora.	$\frac{\# \text{ Actividades ejecutadas}}{\# \text{ Actividades planeadas}} * 100$ $= 100\%$	Giancarlo Di Berardino Gerente de planta
Presentar al comité de Gerencia el cierre de la etapa de Mejora e implementación.	TODOS	Junio 2018 - Enero 2019	Juan Orozco / Alex Visbal	Presentar proyecto con los respectivos resultados.	$\frac{\text{Ahorros logrados}}{\text{Ahorros planteados}} * 100$ $= 100\%$	Giancarlo Di Berardino Gerente de planta

En este plan se observan las acciones de mejora, los responsables de la ejecución, las fechas de ejecución y los resultados esperados. Esta tabla da apoyo al proceso de mejora para llevar un control de las actividades de una forma organizada.

El resultado esperado de cada una de las acciones propuestas, dependerá del apoyo de la alta gerencia para la implementación a tiempo de las mismas y de la motivación que esta les brinde a las áreas involucradas en llevar a cabo las actividades propuestas.

### ***3.1.5. Controlar***

En esta etapa se establecieron métodos o estrategias de control, con el fin de medir la efectividad de las acciones tomadas y garantizar que los resultados se mantengan en el tiempo, de manera que no haya variaciones que afecten la calidad del producto.

Se debe tener en cuenta para esta fase lo siguiente:

1. Disciplina: Es fundamental para mantener y dar seguimiento a las actividades propuestas.
2. Estandarización: Las acciones de control a realizar, deben buscar siempre ser estándar, en términos de que sean llevadas a cabo siempre de la misma manera.
3. Documentación: Se debe llevar registro de todos los seguimientos llevados a cabo, esta documentación debe ser simple y clara, con instrucciones para manejar situaciones de emergencia.
4. Monitoreo: Realizar revisiones con una periodicidad definida.

Para poder plantear las acciones de control a llevar a cabo, se realizaron los siguientes pasos:

1. Identificar las variables de salida y especificaciones esperadas por los clientes interno-externos, esto basado en el análisis SIPOC realizado en la sección Definir.
2. Determinar las variables críticas de entrada para lograr las salidas esperadas. Por ejemplo, el nivel sigma del proceso, la cantidad de rechazos generados, piezas producidas, etc.



3. Por último, para las variables críticas, se determina el valor objetivo, sistema de medición, indicador, frecuencia, tamaño de la muestra, responsable, herramientas y regla de decisión.

En la tabla 24 se puede observar el plan de control propuesto para el proceso de mejora en la línea de roscado de FACU.

Tabla 24 Plan de control propuesto para la mejora del proceso.

AREA	ACTIVIDAD	¿QUÉ SE CONTROLA?	INDICADOR	LÍMITES / ESPECIFICACION	MÉTODO DE MEDICIÓN	TAMAÑO DE LA MUESTRA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	DONDE SE REGISTRA	REGLA DE DECISIÓN
Calidad/Operaciones/Tecnología	Reunión de seguimiento de las acciones propuestas en el plan de mejora de este proyecto	Cumplimiento del plan	(Mejoras Implementadas /Mejoras planeadas)*100	Lim. Inferior: 0% cumplimiento. Lim. Superior: 100% cumplimiento.	Culminación al 100% de las actividades	Todas las actividades	Mensual	Franklin López (Jefe de la línea)	Agenda Outlook	Aprobación del equipo del proyecto
Calidad	Seguimiento a la tendencia del nivel Sigma del proceso	Nivel Sigma	Nivel Sigma	Lim. Inferior: 4 Sigma (Actual) Lim. Superior: 6 Sigma	Medición de cantidad de defectos mensuales y uso de tablas de nivel Sigma	Producción mensual	Mensual	Amilcar Julio (Jefe de calidad)	Archivo de seguimiento Excel	Aprobación del equipo del proyecto
Calidad/Operaciones/Tecnología	Seguimiento a la generación de producto no conforme en las máquinas de roscado críticas.	Generación de producto no conforme en las máquinas críticas y en la producción total	(Cant. Producto no conforme máquinas/total producción máquinas críticas) //(Cant. Producto no conforme total roscado/Producción total roscado)	Lim. Inferior: 0 prod. No conforme máquinas críticas/Prod total maq. Críticas Lim. Superior: prod. No conforme máquinas críticas/Prod total maq. Críticas. (Resultado BDG 17-18)	Procedimiento inspección de roscas Tenaris	Producción diaria	Diario	Franklin López (Jefe de la línea) / Amilcar Julio (Jefe de calidad)/José Jiménez (Tecnólogo roscado)	Programa de calidad Tenaris TurboCaribe	Aprobación del equipo del proyecto
Calidad/Operaciones/Tecnología	Seguimiento a la repetitividad de las causas de las no conformidades en las máquinas críticas	Causas de no conformidades	Repetición de causas de las no conformidades	Lim. Inferior: 0 repetición. Lim. Superior: Repetición de causas de No conformidades BDG 17-18	Análisis ¿5 por qué?	Producción diaria	Diario	Franklin López (Jefe de la línea) / Amilcar Julio (Jefe de calidad)/José Jiménez (Tecnólogo)	Archivo de seguimiento Excel	Aprobación del equipo del proyecto

								go roscado)		
Tecnología	Seguimiento costos de reprocesos y disposición de descartes	Costos de generación de No conformidades	Costo disposición de NC Roscado FACU/ Costo disposición de NC planta	Lim. Inferior: 0USD Lim. Superior: USD Costo disposición NC planta BDG 17-18.	Análisis de costos	Producción diaria	Diario	Juan Orozco (Tecnología y herramientas)	Archivo de seguimiento Excel	Aprobación del equipo del proyecto
Calidad	Seguimiento a reclamos por parte de clientes provenientes de las máquinas críticas	Reclamaciones por las máquinas críticas	Cantidad de reclamos por no conformidades generadas en las máquinas críticas / total reclamos planta	Límite inferior: 0 reclamaciones. Límite superior: Resultado BDG 17-18	Procedimiento reclamos Tenaris	Cantidad de reclamos mensual	Mensual	Amilcar Julio (Jefe de calidad)	Base de datos de calidad Excel	Aprobación del equipo del proyecto
Mantenimiento	Seguimiento al plan de mantenimiento o preventivo y predictivo	Ejecución de actividades de mantenimiento	%Cumplimiento o plan de mantenimiento (Actividades programadas/actividades planeadas)	Lim. Inferior: 0% cumplimiento. Lim. Superior: 100% cumplimiento.	Procedimiento gestión de mantenimiento o Tenaris	Cantidad de actividades programadas semanalmente	Semanal	Carlos Cubas (Jefe de mantenimiento)	Cronograma Mantenimiento	Aprobación del equipo del proyecto
Mantenimiento	Seguimiento a la actualización de los planes de mantenimiento o propuestas por el proyecto de mejora	Cumplimiento del plan de mejora	(Mejoras Implementadas/Mejoras planeadas)*100	Lim. Inferior: 0% cumplimiento. Lim. Superior: 100% cumplimiento.	Culminación al 100% de las actividades	Todas las actividades	Mensual	Carlos Cubas (Jefe de mantenimiento)	Cronograma Mantenimiento	Aprobación del equipo del proyecto
Operaciones	Seguimiento a la producción total de la línea de roscado	Cantidad de producto en proceso y producto final	Cantidad de producto / mes	Lim. Inferior: 0 producto Lim. Superior: Producción BDG 17-18	Procedimiento gestión de producción Tenaris	Producción diaria	Diario	Franklin López (Jefe de producción)	Archivo de seguimiento Excel	Aprobación del equipo del proyecto

## **CAPITULO IV**

En el presente capítulo se realiza el plan de implementación del proyecto, el cual consiste en los aspectos importantes para poder llevar a cabo las actividades planteadas por el plan de mejora propuesto. Para esto se tuvo en cuenta los pasos necesarios para que las mejoras propuestas se lleven a cabo de acuerdo a lo que estableció el equipo de trabajo.

### **4.1 Plan de implementación**

Después del diseño detallado del plan de mejora, en esta etapa se procede a crear un plan para la implementación del plan propuesto, en el cual se describen las actividades, responsables y fechas de ejecución, en este plan se pusieron todas las actividades contempladas en el plan y se incluyó una capacitación en seis sigma a las personas que lideran directamente el proceso, como son los supervisores y jefes de producción, la información contenida en el plan se expone a manera de cronograma, este se puede observar en la tabla 25.

Tabla 25 Plan de implementación del proyecto

ACTIVIDAD	ACCIÓN	RESPONSABLE	FECHA INICIO	FECHA FIN	AÑO 1	AÑO 2				AÑO 3			
					4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T
Capacitar colaboradores en Seis Sigma	Capacitación Seis Sigma – Yellow Belt a supervisores de áreas funcionales	Arelys Arrieta (Jefe de recursos humanos)	Nov/20/2018	Dic/20/2018									
	Capacitación Seis Sigma - Green y Black Belt a jefes y gerentes de áreas funcionales	Arelys Arrieta (Jefe de recursos humanos)	Nov/20/2018	Dic/20/2018									
	Evaluación de capacitación	Arelys Arrieta (Jefe de recursos humanos)	Ene/03/2019	Ene/03/2019									
Presentar planilla de mejoras e implementaciones	Reunión de grupo primario (Área Operativa, área de Mantenimiento y Área de Calidad)	Juan Orozco (Supervisor Herramientas)	Dic/15/2018	Dic/15/2018									

Presentar análisis de costos de las mejoras, retorno de la inversión y plan de mejora	Desarrollo de análisis económico de las mejoras planteadas incluyendo inversión inicial y payback	Giancarlo Di Berardino (Gerente de planta)	Nov/27/2018	Dic/11/2018										
	Reunión con junta directiva	Giancarlo Di Berardino (Gerente de planta)	Dic/20/2018	Dic/22/2018										
Realizar abordaje a operarios que conforman el top de generadores de piezas con defectos	Elaborar listado de operarios con mayor cantidad de no conformidades generadas.	Franklin López (Jefe de roscado)	Ene/20/2019	Ene/21/2019										
	Tomar constancia de charla con cada uno.	Supervisores de roscado	Ene/21/2019	Feb/04/2019										
Realizar ranking de operarios por cantidad de piezas defectuosas producidas por turno, para ser publicado en pantallas de la planta.	Programar pantallas de producción de la planta para mostrar el ranking de operarios	Frelly Lambis (Líder de IT)	Ene/07/2019	Ene/14/2019										

Implementar lista de chequeo para verificar estado de tornillería y herramental de corte de cada máquina por turno. Labor realizada por herramentista.	Elaborar lista de chequeo	Juan Orozco (Supervisor Herramientas)	Feb/20/2019	Feb/20/2019									
	Presentar a departamento de calidad para ser incluido en sistema de gestión documental	Triana Castro (Analista Sistema gestión de calidad)	Feb/20/2019	Feb/25/2019									
	Capacitación a herramentistas para realizar procedimiento	Juan Orozco (Supervisor Herramientas)	Feb/25/2019	Mar/04/2019									
Rediseñar cabezas porta-insertos para proceso de roscado Premium y API, con el fin de evitar mala posición entre rompe-virutas e inserto y atacar el problema de rotura de inserto.	Contactar a proveedores para evaluar alternativas en el mercado	Darwin Peña (Supervisor Herramientas)	Dic/04/2018	Dic/11/2018									
	Plantear rediseño de la cabeza o accesorios para mejorar sujeción del inserto	Darwin Peña (Supervisor Herramientas)	Dic/11/2018	Dic/26/2018									
	Montar Solp para fabricación de rediseño. Llegada de Solp a planta.	Darwin Peña (Supervisor Herramientas)	Dic/26/2018	Mar/26/2019									

	Prueba industrial	Darwin Peña (Supervisor Herramientas)	Mar/26/2019	Abr/26/2019									
	Codificar diseño	Darwin Peña (Supervisor Herramientas)	Abr/26/2019	Abr/30/2019									
	Implementación a todos los tornos	Darwin Peña (Supervisor Herramientas)	Abr/30/2019	Ago/04/2019									
Implementar guía de estándares de parámetros de corte para cada tipo de acero y tipo de rosca, incluir rutina de verificación de parámetros, con personal de tecnología, cada vez que se cambie de operación o cambie de tipo de acero.	Elaborar guía	Víctor Puello (Tecnología)	Ene/20/2019	Ene/22/2019									
	Publicación de guía en sistema VDI	Frelly Lambis (Líder de IT)	Ene/22/2019	Ene/27/2019									
Realizar reentrenamiento en campo al personal inspector de rosca, para recordar la correcta aplicación de los procedimientos de inspección.	Programar jornadas de reentrenamiento	Franklin López (Jefe de roscado)	Ene/20/2019	Ene/22/2019									



	Realizar citaciones al personal	Supervisores de roscado	Ene/22/2019	Ene/26/2019										
	Jornadas de reentrenamiento	Personal de calidad designado	Ene/26/2019	Abr/04/2019										
Elaborar plan de mantenimiento de instrumentos de medición a cargo de técnico herramentista, en el cual realice mantenimiento preventivo y correctivo	Elaboración de plan de mantenimiento	Juan Orozco (Supervisor Herramientas)	Ene/07/2019	Feb/04/2019										
	Validación por parte de personal de metrología	Julián Vesga (Líder de metrología)	Feb/04/2019	Feb/13/2019										
	Entrenamiento de personal de herramientas	Juan Orozco (Supervisor Herramientas)	Feb/13/2019	Mar/14/2019										
Implementar una guía/troubleshooting para el procedimiento de cambio de inserto, que incluya verificación de medidas de la cupla y guía para saber cuándo cambiar el inserto	Elaboración de guía troubleshooting	Víctor Puello (Tecnología)	Nov/20/2018	Nov/28/2018										
	Publicación de guía en sistema VDI	Frelly Lambis (Líder de IT)	Nov/28/2018	Dic/04/2018										

Crear grupo anticolidión de tornos para controlar las colisiones de torno y generar soluciones para evitarlas.	Conformación de grupo de mejora permanente	Juan Fuentes (Líder Herramientas)	Nov/20/2018	Permanente														
Implementación de troqueles para tornos de desbaste.	Elaborar Solp para compra de troqueles	Darwin Peña (Supervisor Herramientas)	Dic/20/2018	Dic/20/2018														
	Espera de llegada a planta y entrega a operarios	Darwin Peña (Supervisor Herramientas)	Dic/20/2018	Ene/20/2019														
Bloquear acceso a modificación de programas CNC por torno, garantizando acceso solamente a equipo de técnicos de tecnología, dejar registro de última persona que realizó modificación del programa, con hora y fecha.	Cambiar clave de acceso a parámetros de programas CNC en cada torno	Víctor Puello (Tecnología)	Nov/15/2018	Nov/18/2018														
	Elaborar formato y control de registro de modificación de programas CNC	Víctor Puello (Tecnología)	Nov/18/2018	Nov/18/2018														
	Implementación y capacitación de técnicos	Víctor Puello (Tecnología)	Nov/18/2018	Nov/20/2018														



## **CAPITULO V**

### **Conclusiones**

A partir del desarrollo del proyecto, se puede concluir lo siguiente:

- Con la definición del proceso de fabricación de cuplas, se pudo conocer el proceso en detalle, mediante el uso de diagramas y datos de unidades rechazadas, para poder denotar con mayor facilidad la identificación del proceso que influye en la mayor generación de no conformidades.
- Midiendo el proceso que generaba mayor producción de inconformidades, se logró establecer los factores críticos que mayor influencia tenían en la fabricación de productos que no cumplían con la calidad requerida.
- Se identificó que, en la actualidad, el proceso se encuentra en un nivel de 4 sigma y de acuerdo a la especificación planteada por la compañía, se debe lograr un nivel de calidad de 5 sigma, esto se evaluó teniendo en cuenta las oportunidades de defecto que se pueden presentar por cada cupla y los resultados de piezas rechazadas del año anterior.
- Cuando se analizó el proceso de roscado se implementó el uso del análisis de varianza ANOVA, encontrado que el problema raíz son los tornos que se encargan del roscado de las cuplas. Esta herramienta puede ser utilizada para analizar otros problemas en la planta, ya que se tiende a pensar que cada máquina es completamente diferente y se debe analizar por separado.
- Se diseñó un plan de mejora con las actividades que permitirán, mediante su aplicación, la reducción de fabricación de piezas defectuosas en el proceso de roscado del acople, específicamente en los tornos de roscado, trayendo una reducción sustancial de productos no conformes en el proceso de fabricación de cuplas.
- Se propone el control del plan de implementación mediante métodos de inspección, con el fin de que se pueda medir la efectividad de las actividades propuestas, para así garantizar que los resultados perduren en el tiempo.

## **Recomendaciones**

Para la elaboración de otros proyectos similares a este, se recomienda lo siguiente:

- La viabilidad del proyecto deberá ser evaluada por la dirección de Tenaris TuboCaribe. Este proyecto representa una oportunidad de mejora importante con un impacto para el negocio y la imagen de la empresa para los clientes tanto internos como externos.
- Para garantizar el éxito del plan de mejora planteado, se debe motivar al personal para mantener los resultados obtenidos durante la implementación, si el personal no está convencido, ninguna de las actividades tendrá éxito.
- Para el cálculo del nivel Sigma del proceso, se recomienda estar en contacto con el área de calidad para aclarar información referente a los defectos presentados por máquina y como se puede solucionar.
- Se recomienda que los equipos de trabajo sean multidisciplinarios y establecer comunicación constante con el personal operativo y técnico, pues al estar en contacto directo con las máquinas tienen muchas ideas que pueden ser tenidas en cuenta y no requieren una alta inversión.
- Se recomienda que este proyecto sea evaluado económicamente con el respectivo seguimiento, ya que mediante el plan sugerido se aspira a tener una reducción de fabricación de productos defectuosos y esto impacta en los costos.

## REFERENCIAS

- Arias, L., Portilla, L., & Castaño, J. (2008). *Aplicación de Six Sigma en las organizaciones*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Baldemar Juan, A. R. (2015). *Reducción y control de costos en empresa de manufactura con seis sigma*. Mexico.
- Baldemar, J., & Abrego, R. (2015). *Reducción y control de costos en empresa de manufactura con seis sigma*. Mexico.
- Campos, B. (1992). *Economía de la empresa. Analisis de las decisiones empresariales*. Madrid: Piramide .
- Castillo, D., Inga, M., & Miranda, E. (2011). *influencia del método kaisen en la reducción de costos de una empresa comercial*. Lima, Perú: Universidad de Ciencias y Humanidades.
- ConceptoDefinicion. (Julio de 2014). Obtenido de <http://conceptodefinicion.de/organizacion/>
- Corbett, T. (2002). *La contabilidad del truput: el sistema de contabilidad gerencial de TOC*. Ediciones Piensalo.
- Cordova, H., & Rivas, M. (2012). *Metodologia de costeo basado en actividades (ABC) dentro de las empresas manufactureras en Venezuela*. Maturín: Universidad de Oriente.
- Echeverria, V. (2008). *diseño de un sistema de información gerencial basado en la contabilidad del truput para la toma de decisiones en finanzas, producción y mercadeo en una empresa de articulos plasticos*. Barranquilla.
- Evans, J. R. (2008). *Adminstración y control de la calidad*. Mexico: CENGAGE.
- Gayle, R. (1999). *Contabilidad y Administración de costos*. Mexico: McGraw-Hill.
- Gutierrez Hidalgo, F. (2005). *Evolución Historica de la contabilidad de Gestión*.
- Lefcovich, M. (2005). *Reducción de costos con mejores prácticas*.
- Lopez, G. (2001). *Metodologia six-sigma: Calidad Industrial*. Baja California, Mexico.

- Morales, M., & Pizarro, M. (2007). *Sistema de contabilidad Througput en la empresa Afuz*. Cuenca, Ecuador: Universidad Azuay.
- Morillo, M. (2001). *Rentabilidad Financiera y Reducción de Costos*. Merida.
- Perez, C., & Henao, L. (2009). *Toma de decisiones rentables mediante la contabilidad Trúput en una lavandería industrial*. Medellin.
- Ramirez Padilla, D. N. (2008). *Contabilidad Administrativa*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- (2015). *Reducción y control de costos en empresa de manufactura con seis sigma*. Mexico.
- Robles, P. (2015). *Analisis de los costos y propuesta de un sistema de costeo ABC para la empresa de panadería y pastelería productos Ottone Sac*. Nuevo Chimbote, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Rondon, G. (1990). *Sistemas de costos industriales*.
- Snee, R. (1999). *Why should statisticians pay attention to six sigma?*
- Sotomayor, B. (2015). *Diseño de un sistema de costos por procesos a través del método ABC*. Perú.
- Valdivieso, R., & Vasquez, M. (2012). *Toma de decisiones bajo contabilidad de costos tradicional y contabilidad truput*. Cuenca.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Análisis 5 ¿Por qué? De los grupos 1 y 2 de máquinas

GRUPO DE MÁQUINAS	Grupo 1 y 2						
NO CONFORMIDAD	CAUSA	MAQUINA	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?
COPLEROSCA ESCALONADA	Rotura del inserto durante el proceso de roscado.	Tornos de roscado	Desalineación de la barra portainserto, respecto a la cupla	Desgaste de tornillería que sujeta y ajusta las herramientas	No existe rutina de recambio preventivo de tornillería	No existe rutina de inspección de tornillería y estado de herramental montado en el torno	Stock de tornillería es muy bajo y no hay suficiente stock para establecer rutina de recambio preventivo.
			Sobrematerial muy alto proveniente desde el torno de desbaste (válido para cuplas PREMIUM)	Falla del control de parámetros de calidad en tornos de desbaste	Falta de atención del operario del torno de desbaste	No conoce la importancia que tiene su trabajo aguas abajo en el proceso	No existen troqueles para marcar las cuplas desde el desbaste y poder realizar trazabilidad y abordaje a operario que falla en el control en el proceso de desbaste.
			Las cabezas porta-insertos tienen un error en la fabricación y el rompe-virutas queda mal posicionado, ocasionando que el diente del peine se sobrecargue y se rompa	El fabricante local comete errores de fabricación y no se le retroalimenta al respecto	Se realiza poco control dimensional de las herramientas antes de entregar a las máquinas.	El personal técnico que entrega y prepara las herramientas tiene poca capacitación en inspección de herramientas. La misma situación aplica para los operarios de máquina	No se consideró en el programa de capacitación del personal técnico de herramientas y no se planteó una rutina de inspección de herramientas.



			prematuramente.				
	Rechazo falso por mala aplicación del procedimiento		Procedimiento establece rechazo por escalón detectable por inspección con mina de grafito de 0.5mm, operadores utilizan una mina de mayor diámetro, lo que propicia a que se siente un escalón falso.	Hay una mala aplicación del procedimiento de inspección.	No hay claridad o dominio de los procedimientos de inspección.	-	-
COPLE FUERA DE DIAMETRO PITCH	Se realizó ajuste del programa y no se realizó una verificación correcta de parámetros de calidad.	Tornos de roscado	Se realiza ajuste por parte de personal de tecnología cada vez que hay un arranque o cuando hay problemas en la máquina.	No existe un checklist o registro de los ajustes realizados por el personal de tecnología.	-	-	-
	Se realizó un cambio de inserto antes de la última pasada de rosca y no se verificó las		Se realiza cambio de inserto por desgaste o rotura.	No se verifica correctamente la variable diámetro pitch para compensar el cambio de inserto	No existe un procedimiento estándar de cambio de inserto.	No se consideró en los procedimientos.	-

	medidas de la cupla para hacer compensación.						
COPLE ROSCA VIBRADA	Vibración de la herramienta o del inserto de roscado.	Tornos de roscado	Fallas en el ajuste de la tornillería al cambiar el inserto	Los accesorios de sujeción de insertos y herraje en general están desgastados.	No existe rutina de inspección de accesorios y estado de tornillería.	No se consideró en la rutina del operario	No existe lista de chequeo de turno
	No se cambiaron los parámetros de corte al cambiar a un tipo de acero de mayor dureza.		En cualquier momento se realiza cambio de colada de acero, programada.	Desatención o falta de conocimiento del programa de producción por parte del operario.	-	-	-
COPLE ROSCA INCOMPLETA	Falla en el recorrido de la herramienta	Tornos de roscado	Falla eléctrica en el torno que ocasiona que se interrumpa el roscado antes de tiempo.	Falla en mantenimiento preventivo	-	-	-
			Se modificó el programa CNC	Para disminuir el tiempo de ciclo y producir mayor cantidad de cuplas	Porque hay un bono económico por productividad	Algunos operarios tienen acceso a las claves de modificación de programas CNC	-
COPLE ROSCA CON REBABA	Mala operación de limpieza de la cupla al finalizar el roscado	Tornos de roscado	Operario no realiza correctamente la operación de soplado de viruta y soluble finalizado el roscado	No tiene el cuidado.	No cuenta con las herramientas para remover rebaba.	No se incluye entre herramientas de inicio de turno	No se consideró.

	Rompe-virutas en inserto no es el adecuado.		El rompe-virutas del inserto de sello no corta correctamente la viruta.	No fue seleccionado correctamente.	Existen varios tipos de insertos con rompe-virutas diferentes.	Tienen diferentes usos.	Falló el armado correcto de las herramientas de corte.
COPLER FUERA DE PASO	Falla eléctrica de encoder de la torreta que ocasiona pérdida de paso.	Tornos de roscado	No hay manera de verificar estado de este elemento durante producción.	Es un repuesto que está dentro de la máquina.	Falló el mantenimiento preventivo.	-	-
	Medición errónea del paso de rosca, ocasiona un rechazo falso		Falla del pasímetro. Ya sea por desgaste de puntas de contacto o por daño mecánico del instrumento.	Operario no inspecciona estado de los instrumentos de medición, ni realiza mantenimiento preventivo de estos.	No existe una rutina de inspección de estado de instrumentos.	Se solicita inspeccionar los instrumentos de medición, pero no hay una frecuencia establecida ni un procedimiento diferenciado para cada instrumento.	No se consideró.

## ANEXO 2: Análisis 5 ¿Por qué? Del grupo 3 de máquinas

GRUPO DE MÁQUINAS	Grupo 3
-------------------	---------

NO CONFORMIDAD	CAUSA	MAQUINA	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?
COPLE ROSCA VIBRADA	Vibración de la herramienta o del inserto de roscado.	Tornos de roscado	Fallas en el ajuste de la tornillería al cambiar el inserto	Los accesorios de sujeción de insertos y herraje en general están desgastados.	No existe rutina de inspección de accesorios y estado de tornillería.	No se consideró en la rutina del operario	No existe lista de chequeo de turno
	No se cambiaron los parámetros de corte al cambiar a un tipo de acero de mayor dureza.		En cualquier momento se realiza cambio de colada de acero, programada.	Desatención o falta de conocimiento del programa de producción por parte del operario.	-	-	-
COPLE ROSCA ESCALONADA	Rotura del inserto durante el proceso de roscado.	Tornos de roscado	Desalineación de la barra porta-inserto, respecto a la cupla	Desgaste de tornillería que sujeta y ajusta las herramientas	No existe rutina de recambio preventivo de tornillería	No existe rutina de inspección de tornillería y estado de herramental montado en el torno	Stock de tornillería es muy bajo y no hay suficiente stock para establecer rutina de recambio preventivo.

			Las cabezas porta-insertos tienen un error en la fabricación y el rompevirutas queda mal posicionado, ocasionando que el diente del peine se sobrecargue y se rompa prematuramente.	El fabricante local comete errores de fabricación y no se le retroalimenta al respecto	Se realiza poco control dimensional de las herramientas antes de entregar a las máquinas.	El personal técnico que entrega y prepara las herramientas tiene poca capacitación en inspección de herramientas. La misma situación aplica para los operarios de máquina	No se consideró en el programa de capacitación del personal técnico de herramientas y no se planteó una rutina de inspección de herramientas.
	Rechazo falso por mala aplicación del procedimiento		Procedimiento establece rechazo por escalón detectable por inspección con mina de grafito de 0.5mm, operadores utilizan una mina de mayor diámetro, lo que propicia a que se sienta un escalón falso.	Hay una mala aplicación del procedimiento de inspección.	No hay claridad o dominio de los procedimientos de inspección.	-	-

			Falla eléctrica en el torno que ocasiona que se interrumpa el roscado antes de tiempo.	Falla en mantenimiento preventivo	-	-	-
COPLEROSCA INCOMPLETA	Falla en el recorrido de la herramienta	Tornos de roscado	Se modificó el programa CNC	Para disminuir el tiempo de ciclo y producir mayor cantidad de cuplas	Porque hay un bono económico por productividad	Algunos operarios tienen acceso a las claves de modificación de programas CNC	-
COPLER FUERA DE DIAMETRO PITCH	Se realizó ajuste del programa y no se realizó una verificación correcta de parámetros de calidad.	Tornos de roscado	Se realiza ajuste por parte de personal de tecnología cada vez que hay un arranque o cuando hay problemas en la máquina.	No existe un checklist o registro de los ajustes realizados por el personal de tecnología.	-	-	-

	Se realizó un cambio de inserto antes de la última pasada de rosca y no se verificó las medidas de la cupla para hacer compensación.		Se realiza cambio de inserto por desgaste o rotura.	No se verifica correctamente la variable diámetro pitch para compensar el cambio de inserto	No existe un procedimiento estándar de cambio de inserto.	No se consideró en los procedimientos.	-
COPLA FUERA DE TIRO	No se realiza cambio de inserto de roscado cuando está muy desgastado. (PRODUCTOS API)	Tornos de roscado	El operario trata de llevar a máxima vida útil al inserto de roscado, pero no conoce el estándar de rendimiento para guiarse.	Los operarios no conocen los estándares de rendimiento de insertos.	No se ha socializado los estándares.	No se tenía medición de estándares de rendimiento de insertos establecidos hasta hace poco.	-
				Los estándares para los diámetros pequeños en rosca API están mal definidos, son muy altos.	No existía datos históricos de rendimiento de insertos.	-	-

### ANEXO 3: Análisis 5 ¿Por qué? Del grupo 4 de maquinas

GRUPO DE MÁQUINAS	Grupo 4 (TC29)						
NO CONFORMIDAD	CAUSA	MAQUINA	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿POR QUÉ?
COPLE FUERA DE TIRO	No se realiza cambio de 120diámetro de roscado cuando está muy desgastado. (PRODUCTOS API)	Tornos de roscado	El operario trata de llevar a máxima vida útil al inserto de roscado, pero no conoce el rendimiento estándar para guiarse.	Los operarios no conocen los estándares de rendimiento de insertos.	No se ha socializado los estándares.	No se tenía medición de estándares de rendimiento de insertos establecidos hasta hace poco.	-
				Los estándares para los diámetros pequeños en rosca API están mal definidos, son muy altos.	No existía datos históricos de rendimiento de insertos.	-	-
COPLE FUERA DE DIAMETRO INTERNO	Falla en el control de parámetros de calidad en los tornos de desbaste	Tornos de roscado	Falla del control de parámetros de calidad en tornos de desbaste	Falta de atención del operario del torno de desbaste	No conoce la importancia que tiene su trabajo aguas abajo en el proceso	No existen troqueles para marcar las cuplas desde el desbaste y poder realizar trazabilidad y abordaje a operario que falla en el control en el proceso de desbaste.	-



	Desajuste de la torreta, lo que ocasiona un desbaste excesivo previo a la operación de roscado.	Torno 29	La herramienta se chocó 2 veces consecutivas contra la cupla y mordazas, ocasionando daño en la torreta.	Por una desatención del operario en turno.	-	-	-
COPLE ROSCA ESCALONAD A	Rotura del inserto durante el proceso de roscado.	Tornos de roscado	Desalineación de la barra porta-inserto, respecto a la cupla	Desgaste de tornillería que sujeta y ajusta las herramientas	No existe rutina de recambio de diámetro de tornillería	No existe rutina de inspección de tornillería y estado de herramental montado en el torno	Stock de tornillería es muy bajo y no hay suficiente stock para establecer rutina de recambio preventivo.
			Sobrematerial muy alto proveniente desde el torno de desbaste (válido para cuplas PREMIUM)	Falla del control de parámetros de calidad en tornos de desbaste	Falta de atención del operario del torno de desbaste	No conoce que tiene su trabajo “aguas abajo” en el proceso	No existen troqueles para marcar las cuplas desde el desbaste y poder realizar trazabilidad y abordaje a operario que falla en el control en el proceso de desbaste.

			Las cabezas porta-insertos tienen un error en la fabricación y el rompe-virutas queda mal posicionado, ocasionando que el diente del peine se sobrecargue y se rompa prematuramente.	El fabricante local comete errores de fabricación y no se le retroalimenta al respecto	Se realiza poco control dimensional de las herramientas antes de entregar a las máquinas.	El personal técnico que entrega y prepara las herramientas tiene poca capacitación en inspección de herramientas. La misma situación aplica para los operarios de máquina	No se consideró en el programa de capacitación del personal técnico de herramientas y no se planteó una rutina de inspección de herramientas.
	Rechazo falso por mala aplicación del procedimiento		Procedimiento establece rechazo por escalón detectable por inspección con mina de grafito de 0.5mm, operadores utilizan una mina de mayor diámetro, lo que propicia a que se sienta un escalón falso.	Hay una mala aplicación del procedimiento de inspección.	No hay claridad o dominio de los procedimientos de inspección.	-	-
COPLE FUERA DE PASO	Falla eléctrica de encoder de la torreta que ocasiona pérdida de paso.	Tornos de roscado	No hay manera de verificar estado de este elemento durante producción.	Es un repuesto que está dentro de la máquina.	Durante los eventos de choque del torno 29, se produjo daño del encoder y los cables de contacto.	Falló el mantenimiento	-

	Medición del paso de rosca, ocasiona un rechazo falso		Falla del pasímetro. Ya sea por desgaste de puntas de contacto o por daño mecánico del instrumento.	Operario no inspecciona estado de los instrumentos de medición, ni realiza mantenimiento preventivo de estos.	No existe una rutina de inspección de estado de instrumentos.	Se solicita inspeccionar los instrumentos de medición, pero no hay una frecuencia establecida ni un procedimiento para cada instrumento.	Se desconoce.
COPLE FUERA DE DIAMETRO PITCH	Se realizó ajuste del programa y no se realizó una verificación correcta de parámetros de calidad.	Tornos de roscado	Se realiza ajuste por parte de personal de tecnología cada vez que hay un arranque o cuando hay problemas en la máquina.	No existe un checklist o registro de los ajustes realizados por el personal de tecnología.	-	-	-
	Se realizó un cambio de inserto antes de la última pasada de rosca y no se verificó las medidas de la cupla para hacer compensación.		Se realiza cambio de inserto por desgaste o rotura.	No se verifica correctamente la variable pitch para compensar el cambio de inserto	No existe un procedimiento estándar de cambio de inserto.	No se consideró en los procedimientos.	-

#### ANEXO 4: Identificación de causas de generación de defectos para el grupo de máquinas 1, 2 y 4

IDENTIFICACION DE CAUSAS DE GENERACIÓN DE DEFECTOS PARA EL GRUPO DE MÁQUINAS:		Grupo 1, 2 y 4
CATEGORÍA	CAUSAS	DESCRIPCIÓN
Tecnología de proceso	Rotura del inserto durante el proceso de roscado.	El inserto de roscado se rompe durante el roscado y ocasiona un escalón.
Materiales	Rotura del inserto por mala calidad del inserto.	El inserto de roscado tiene un defecto de fábrica, puede ser fisura, mal recubrimiento o progresión equivocada, lo que ocasiona defecto en la rosca.
Medición	Falso rechazo por mala medición.	Operario no mide correctamente o no inspecciona estado de los instrumentos, lo que afecta la medición de algún parámetro y ocasiona un rechazo de una pieza buena.
Personal	Se realizó ajuste del programa y no se realizó una verificación correcta de parámetros de calidad.	Durante arranque de producto o ajuste de algún parámetro se modifica el programa CNC y no se midieron los parámetros y se generan rechazos más adelante.
Método	Se realizó un cambio de inserto antes de la última pasada de rosca y no se verificó las medidas de la cupla para hacer compensación.	Con el maquinado el inserto se desgasta y reduce sus medidas, si se cambia el inserto durante las últimas pasadas, se debe compensar algunas medidas para tener en cuenta la diferencia de desgaste, si no se hace esto, se genera un defecto.

Tecnología de proceso	Vibración de la herramienta o del inserto de roscado.	Si las herramientas de roscado no están bien sujetas y vibran, se produce vibración en la rosca.
Personal	No se cambiaron los parámetros de corte al cambiar a un tipo de acero de mayor dureza.	Hay aceros de diferentes coladas y durezas, si se cambia la colada y no se cambia el programa CNC, se produce rotura de insertos y defectos como vibración en la rosca.
Maquina	Falla en el recorrido de la herramienta	Por falta de mantenimiento o daños mecánicos la herramienta no realiza su recorrido completo y la rosca no se hace completa.
Método	Mala operación de limpieza de la cupla al finalizar el roscado	Si no se remueven las rebabas y suciedad después del proceso, se considera como un defecto.
Tecnología de proceso	Rompevirutas del inserto no es el adecuado.	Existen varios tipos de insertos similares, pero cumplen funciones diferentes, en este caso falló la entrega de herramientas.
Maquina	Falla eléctrica de encoder de la torreta que ocasiona pérdida de paso.	Daño eléctrico que genera pérdida de paso en la rosca.
Medición	Usar instrumentos no calibrados para realizar medición de parámetros	Operario y técnico de herramientas fallan en la verificación de la vigencia de calibración de los instrumentos de medición y se mide con instrumento no apto.
Maquina	Desajustes por falta de mantenimiento.	No se cumple con la frecuencia de mantenimiento.

Personal	Operario no realiza medición de parámetros y aprueba sin realizar el control.	Falla frecuencia de inspección y se aprueban piezas defectuosas.
Tecnología de proceso	Baja concentración de refrigerante	La baja concentración de soluble produce desgaste prematuro de los insertos y rotura
Personal	Máquina colisiona herramientas de corte contra la cupla o las mordazas.	Se produce una colisión por mala operación de la máquina y se pierden referencias, se producen desajuste de la máquina y daños mecánicos en general.

## ANEXO 5: Identificación de causas de generación de defectos para el grupo 3 de maquinas

IDENTIFICACION DE CAUSAS DE GENERACIÓN DE DEFECTOS PARA EL GRUPO DE MÁQUINAS:		Grupo 3
CATEGORÍA	CAUSAS	DESCRIPCIÓN
Tecnología de proceso	Vibración de la herramienta o del inserto de roscado.	Si las herramientas de roscado no están bien sujetas y vibran, se produce vibración en la rosca.
Personal	No se cambiaron los parámetros de corte al cambiar a un tipo de acero de mayor dureza.	Hay aceros de diferentes coladas y durezas, si se cambia la colada y no se cambia el programa CNC, se produce rotura de insertos y defectos como vibración en la rosca.
Tecnología de proceso	Rotura del inserto durante el proceso de roscado.	El inserto de roscado se rompe durante el roscado y ocasiona un escalón.
Materiales	Rotura del inserto por mala calidad del inserto.	El inserto de roscado tiene un defecto de fábrica, puede ser fisura, mal recubrimiento o progresión equivocada, lo que ocasiona defecto en la rosca.
Medición	Falso rechazo por mala medición.	Operario no mide correctamente o no inspecciona estado de los instrumentos, lo que afecta la medición de algún parámetro y ocasiona un rechazo de una pieza buena.
Maquina	Falla en el recorrido de la herramienta	Por falta de mantenimiento o daños mecánicos la herramienta no realiza su recorrido completo y la rosca no se hace completa.
Personal	Se realizó ajuste del programa y no se realizó una verificación correcta de parámetros de calidad.	Durante arranque de producto o ajuste de algún parámetro se modifica el programa CNC y no se midieron los parámetros y se generan rechazos más adelante.

Método	Se realizó un cambio de inserto antes de la última pasada de rosca y no se verificó las medidas de la cupla para hacer compensación.	Con el maquinado el inserto se desgasta y reduce sus medidas, si se cambia el inserto durante las últimas pasadas, se debe compensar algunas medidas para tener en cuenta la diferencia de desgaste, si no se hace esto, se genera un defecto.
Método	No se realiza cambio de inserto de roscado cuando está muy desgastado. (PRODUCTOS API)	El operario trata de llevar a máxima vida útil al inserto de roscado, pero no conoce el estándar de rendimiento para guiarse.
Medición	Usar instrumentos no calibrados para realizar medición de parámetros	Operario y técnico de herramientas fallan en la verificación de la vigencia de calibración de los instrumentos de medición y se mide con instrumento no apto.
Maquina	Desajustes por falta de mantenimiento.	No se cumple con la frecuencia de mantenimiento.
Personal	Operario no realiza medición de parámetros y aprueba sin realizar el control.	Falla frecuencia de inspección y se aprueban piezas defectuosas.
Tecnología de proceso	Baja concentración de refrigerante	La baja concentración de soluble produce desgaste prematuro de los insertos y rotura
Personal	Máquina colisiona herramientas de corte contra la cupla o las mordazas.	Se produce una colisión por mala operación de la máquina y se pierden referencias, se producen desajuste de la máquina y daños mecánicos en general.



## ANEXO 6: Matriz de evaluación de causas y efectos

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE CAUSAS Y EFECTOS									
Líderes del plan de mejora: Juan Orozco - Alex Visbal									
EVALUADORES	CARGO		Líder de Roscado	Líder de Calidad	Tecnólogo de Roscado	Supervisor	Operador	Puntaje	Prioridad
GRUPO DE MÁQUINAS	CATEGORÍA	VARIABLE	Franklim López	Amilcar Julio	José Jiménez	Juan Orozco	Jesús Tijera		
GRUPO 1, 2 Y 4 (PREMIUM)	Tecnología	Vibración del herramental	10	10	10	10	5	45	2
	Personal	Cambio de parámetros de acuerdo a tipo de colada	3	7	10	10	5	35	
	Tecnología	Rotura de inserto	7	10	10	10	7	44	2
	Materiales	Mala calidad de inserto	5	5	5	7	10	32	
	Medición	Rechazo incorrecto	10	10	10	10	10	50	1
	Maquina	Falla en recorrido de herramienta	10	10	10	10	10	50	1
	Personal	Falta de verificación después de ajuste	5	5	3	3	3	19	
	Método	Mala operación de cambio de inserto	5	7	7	7	5	31	
	Método	Desconocimiento de estándares de vida útil de insertos	3	3	3	5	7	21	
	Medición	Uso de instrumentos no calibrados	3	10	3	3	5	24	
	Maquina	Mantenimiento	10	10	10	10	10	50	1
	Personal	Falta de control de proceso	10	10	10	10	10	50	1
	Tecnología	Concentración de refrigerante	10	3	5	1	10	29	
	Personal	Colisión de máquina	10	7	10	10	10	47	2
GRUPO 3 (API)	Tecnología	Vibración del herramental	10	5	7	7	10	39	
	Personal	Cambio de parámetros de acuerdo a tipo de colada	7	5	7	5	5	29	
	Tecnología	Rotura de inserto	10	7	10	10	10	47	2
	Materiales	Mala calidad de inserto	10	10	7	5	10	42	
	Medición	Rechazo incorrecto	10	10	10	10	5	45	2
	Maquina	Falla en recorrido de herramienta	7	7	10	10	10	44	2
	Personal	Falta de verificación después de ajuste	7	7	10	10	7	41	
	Método	Mala operación de cambio de inserto	7	10	10	10	7	44	2
	Método	Desconocimiento de estándares de vida útil de insertos	3	5	3	5	5	21	
	Medición	Uso de instrumentos no calibrados	7	7	7	5	3	29	
	Maquina	Mantenimiento	10	10	10	10	10	50	1
	Personal	Falta de control de proceso	10	10	10	10	10	50	1
	Tecnología	Concentración de refrigerante	5	5	7	3	10	30	
	Personal	Colisión de máquina	10	10	10	10	10	50	1

Escala numérica:

1: No impacta	3: Impacto Mínimo	5: Impacto Medio	7: Impacto Significativo	10: Impacto Total
---------------	-------------------	------------------	--------------------------	-------------------

**ANEXO 7: Listado de operarios que más generaron rechazo en los productos API.**

OPERARIOS PROBLEMAS API Y PREMIUM	
CODIGO	NOMBRE
60060867	ALBERTO ELIAS MONTERROSA RUIZ
60060383	ALCIDES MERCADO BARRIOS
60058757	ANDRES CABEZAS CARRASCAL FELIPE
60062614	ANGELA MERCEDES GAMARRA FUENTES
60058887	ANGIE PAOLA MEDRANO
60060568	BLEIDY LUZ SALGADO ZABALETA
60060868	BRANDON SANABRIA ROJAS
60060536	BRAYAN JOSE RODRIGUEZ ELLES
60058782	CAMILO ANDRES GALVEZ TOLOSA
60058756	CRISTHIAN CAMILO PEÑA MONTOYA
60060554	DARWIN GUILLERMO GUZMAN CARBAL
60060713	DIOCELINA OROZCO VALIENTE
60060342	DONALDO ANDRES PLATA MARQUEZ
60058878	EDUARDO ALONSO MONTAÑEZ LEAL
60058928	ELKIN DAVID OROZCO QUEZADA
60049530	EMIR JUNIOR ESPRIELLA AGUILAR
60058749	EVER ANTONIO PEREIRA MANOTAS
60058962	HENRY DAVID CERVANTES PUELLO
60058889	JEISON DIAZ LOPEZ
60060337	JERSON ANDRES SANCHEZ ROMAN
60060551	JESUS RAFAEL TIJERA PUERTA
60062480	JHON JAMES CRUZ CARO
60060570	JOSUE ARMANDO MALAMBO SANCHEZ
60060516	JULIO BERNARDO MARRUGO GUTIERREZ
60060561	KELIBETH MUÑOZ MEZA
60060946	LAURA LUZ QUINTERO CARABALLO
60058876	LEIDIS PATRICIA ALCALA THERAN
60058877	LINA MARIA BADILLO VERBEL
60058955	LUIS ALEJANDRO MUÑOZ MARRUGO
60060533	LUIS EDUARDO RIOS TORRES
60060537	LUZ MARIA CHAVEZ GENEY
60058890	MANUEL ANDRES BELLIDO NUÑEZ
60060538	MARIA CAMILA OROZCO CASTRO
60060949	MARIA JESUS CASTILLA OSPINO
60058872	MARIA PATRICIA PADILLA QUEJADA
60058891	MICHAEL DOUGLAS PARDO DE LA ROSA
60060569	MIGUEL ALBERTO LOPEZ OLIVEROS
60060559	MISHEL JOSEFINA CASTRO BRACHO

60060581	NAYARITH DAZA LOPEZ
60060580	ORLANDO PAJARO QUINTERO
60058894	ORLEIDIS ROMERO BUELVAS
60058959	OSCAR JAVIER BARRIOS CARMONA
60060741	OSCAR HUMBERTO PERIÑAN MARCHENA
60058869	PAULA ROMERO DIAZ
60060358	RAFAEL MAURICIO BENITEZ DE AVILA
60060957	RONALD GUSTAVO GARCIA CAÑAS
60058949	ROSA ANGELICA CONQUETT QUINTANA
60060566	SANDRA PAOLA HERRERA ZABALETA
60058952	SHARON OROZCO MIRANDA
60058870	SHIMIELS ANGELICA RAMOS LUNA
60060362	TOMAS YAIR SAN MARTIN JULIO
60060562	VIERIS PATRICIA BELLO MENDOZA
60060368	WILFER DE JESUS VALLEJO SANCHEZ
60058886	WILTON CORREA MENDEZ

**ANEXO 8: Listado de operarios que más generaron rechazo en los productos PREMIUM.**

OPERARIOS PARETO PREMIUM	
CODIGO	NOMBRE
60058884	ADONIS PAJARO LLAMAS
60062459	ADRIANA PAOLA MARTINEZ ANILLO
60060867	ALBERTO ELIAS MONTERROSA RUIZ
60060383	ALCIDES MERCADO BARRIOS
60058939	ALVARO JOSE NIETO CARVAJAL
60060705	ANDRES ALFONSO PAJARO VILLADIEGO
60058757	ANDRES CABEZAS CARRASCAL FELIPE
60062614	ANGELA MERCEDES GAMARRA FUENTES
60058887	ANGIE PAOLA MEDRANO
60060706	ANGIE SELENA ALZATE HERAZO
60060568	BLEIDY LUZ SALGADO ZABALETA
60060868	BRANDON SANABRIA ROJAS
60060536	BRAYAN JOSE RODRIGUEZ ELLES
60058782	CAMILO ANDRES GALVEZ TOLOSA
60058756	CRISTHIAN CAMILO PEÑA MONTOYA
60060554	DARWIN GUILLERMO GUZMAN CARBAL
60060531	DAYANA ANDREA BARRIOS BURGOS
60060713	DIOCELINA OROZCO VALIENTE
60060342	DONALDO ANDRES PLATA MARQUEZ
60058878	EDUARDO ALONSO MONTAÑEZ LEAL
60058928	ELKIN DAVID OROZCO QUEZADA
60060517	EMERSON JIMENEZ PUELLO
60049530	EMIR JUNIOR ESPRIELLA AGUILAR
60058749	EVER ANTONIO PEREIRA MANOTAS
60058926	EVIS DARIO DE LAS AGUAS RUIZ
60060530	FREDDYS ONORIO MORA
60059990	GUSTAVO ADOLFO JULIO CASTELLAR
60060721	HAROLD EDUARDO MARTINEZ BARRIOS
60058962	HENRY DAVID CERVANTES PUELLO
60060361	JAIME LUIS MENDOZA ARRIETA
60058933	JEFREY ENRIQUE ANAYA ROCHA
60058889	JEISON DIAZ LOPEZ
60060337	JERSON ANDRES SANCHEZ ROMAN
60060551	JESUS RAFAEL TIJERA PUERTA
60062480	JHON JAMES CRUZ CARO
60058947	JHONATAN NUÑEZ MONTES

60058900	JONATAN ANTONIO GARCIA SUAREZ
60039061	JORGE LEONARDO SAYAS WATTS
60058779	JOSE DE LOS REYES BENITEZ RODRIGUEZ
60062455	JOSE JAVIER GELIZ CASTRO
60060570	JOSUE ARMANDO MALAMBO SANCHEZ
60060516	JULIO BERNARDO MARRUGO GUTIERREZ
60062486	KAREN ISABEL MORA SANTANA
60060561	KELIBETH MUÑOZ MEZA
60060946	LAURA LUZ QUINTERO CARABALLO
60058876	LEIDIS PATRICIA ALCALA THERAN
60058877	LINA MARIA BADILLO VERBEL
60059989	LUILLY MANUEL LOPEZ CARRIZOSA
60058955	LUIS ALEJANDRO MUÑOZ MARRUGO
60060533	LUIS EDUARDO RIOS TORRES
60060535	LUIS ENRIQUE CASTILLO ALVARADO
60058945	LUIS FERNANDO GUZMAN CAMPOS
60060537	LUZ MARIA CHAVEZ GENEY
60058960	MANUEL ALEJANDRO BOSSIO MENDOZA
60058890	MANUEL ANDRES BELLIDO NUÑEZ
60060528	MANUEL BLANCO TORRES
60060538	MARIA CAMILA OROZCO CASTRO
60060949	MARIA JESUS CASTILLA OSPINO
60058872	MARIA PATRICIA PADILLA QUEJADA
60058963	MAURO ALEJANDRO CUELLO GARCIA
60058891	MICHAEL DOUGLAS PARDO DE LA ROSA
60058760	MIGUEL ALBERTO DIAZ PUELLO
60060569	MIGUEL ALBERTO LOPEZ OLIVEROS
60060559	MISHEL JOSEFINA CASTRO BRACHO
60060581	NAYARITH DAZA LOPEZ
60060580	ORLANDO PAJARO QUINTERO
60058894	ORLEIDIS ROMERO BUELVAS
60058959	OSCAR JAVIER BARRIOS CARMONA
60062484	OSCAR ADOLFO MUÑOZ GALE
60060741	OSCAR HUMBERTO PERIÑAN MARCHENA
60058869	PAULA ROMERO DIAZ
60058773	RAFAEL GUILLERMO DEVOZ GOMEZ
60060358	RAFAEL MAURICIO BENITEZ DE AVILA
60060743	RAFAEL RICARDO GAMERO GUTIERREZ
60058902	RAFAEL RICARDO SEVILLA MARTINEZ
60032682	RANDY WILSON RAMOS BELLO
60058958	REYNALDO JOSE RODRIGUEZ MARTINEZ

60060957	RONALD GUSTAVO GARCIA CAÑAS
60058949	ROSA ANGELICA CONQUETT QUINTANA
60060566	SANDRA PAOLA HERRERA ZABALETA
60058952	SHARON OROZCO MIRANDA
60058870	SHIMIELS ANGELICA RAMOS LUNA
60060362	TOMAS YAIR SAN MARTIN JULIO
60060562	VIERIS PATRICIA BELLO MENDOZA
60060560	VIRGINIA GUADALUPE CASTRO MONTES
60060368	WILFER DE JESUS VALLEJO SANCHEZ
60058886	WILTON CORREA MENDEZ